

UNIDAD DIDÁCTICA: INGENIERÍA  
INVERSA EN FORMACIÓN PROFESIONAL.  
ESCANEADO 3D, PROTOTIPADO RÁPIDO,  
PROGRAMACIÓN CAM Y FABRICACIÓN  
DE PIEZA MECÁNICA.

MASTER UNIVERSITARIO DE PROFESORADO EN EDUCACIÓN SECUNDARIA

DAVID AMILIBIA MUNARRIZ  
TUTOR: ANGEL JAVIER MUÑOZ NIEVA

## Contenido

1. Resumen.....	3
2. Introducción .....	5
2.1 Contextualización .....	5
2.2 Normativa.....	5
3. Modulo Profesional.....	7
3.1 Resultados de aprendizaje y criterios de evaluación .....	7
3.2 Contenidos .....	10
3.3 Orientaciones didácticas .....	12
4. Ingeniería Inversa. Herramientas empleadas en el proyecto .....	14
4.1 ¿Qué es la ingeniería inversa?.....	14
4.2 Escáner 3D.....	14
4.3 Impresora 3D tipo FFF .....	17
4.4 Diseño y fabricación asistida por ordenador (CAD/CAM).....	20
4.5 Fresadora 3 ejes Haas.....	21
5. La unidad didáctica.....	22
5.1 Descripción.....	22
5.2 Justificación .....	23
5.3 Conocimientos previos.....	23
5.4 Contenidos .....	24
5.5 Metodología .....	25
5.6 Desarrollo de actividades .....	26
5.7 Evaluación .....	39
5.7.1 Criterios de evaluación.....	39
5.7.2 Instrumentos de evaluación.....	40
5.7.3 Criterios de calificación .....	40
5.7.4 Recuperación.....	40
5.8 Valoración final.....	41
5.9 Posibles vías de trabajo futuro.....	41
6. Atención a la diversidad .....	42
7. Bibliografía .....	44
8. Agradecimientos .....	46
9. Anexos.....	47
Anexo I. Ejemplo de proyecto completo: Ratón ordenador .....	47
Anexo II Varios.....	70

## 1. Resumen

Los avances tecnológicos producen constantes cambios en la forma de concebir, diseñar y fabricar los productos que la sociedad actual demanda y por tanto la industria moderna produce. Recientemente nuevos métodos de diseño y fabricación se están incorporando en los procesos de trabajo de muchas empresas sin olvidar los métodos más tradicionales que todavía siguen siendo los más empleados.

Dos claros ejemplos de estos avances tecnológicos son las impresoras y los escáneres 3D. Su gran versatilidad sumada a su cada vez mayor accesibilidad está haciendo de estas herramientas unas grandes aliadas de la empresa industrial del futuro.

En este **Trabajo Fin de Máster**, correspondiente a la especialidad de **Tecnología** del *Máster Oficial Universitario de Profesorado en Educación Secundaria*, se pretende desarrollar el material didáctico necesario para completar una Unidad Didáctica dentro del módulo de formación profesional 0161 Fabricación Asistida por Ordenador (FAO). Este módulo formativo se imparte en el Ciclo de Grado Superior Programación de la Producción en Fabricación Mecánica.

A través de la metodología de **Aprendizaje Basado en Proyectos** se profundizará en el denominado proceso de **Ingeniería Inversa**. Este proceso consiste en replicar un producto ya existente haciendo uso de herramientas de escaneado y prototipado rápido en conjunto con herramientas más tradicionales de fabricación, como son el uso de programación CAM y mecanizado por arranque de viruta.

El proyecto se adaptará a los requisitos indicados en el currículo del propio módulo formativo, ampliándolo para incluir nuevos contenidos. Para completarlo los alumnos utilizarán los medios habituales disponibles en un centro de formación profesional.

Palabras clave: *Unidad didáctica, Ingeniería inversa, Formación profesional, Aprendizaje Basado en Proyectos*

## Abstract

Technical progress produce constant changes in the way products demanded by the society are conceived, designed and manufactured and therefore produced by modern industry. In the last few years new design and manufacturing methods are being incorporated into the workflow of many companies bearing in mind that traditional manufacturing methods are still widely used.

Two examples of these technical advances are 3D printers and scanners. Its versatility combined with the increasing accessibility of these tools are making them great allies for modern industrial companies.

This **Master's Thesis** part of the *Official Master Degree in Secondary Education* coursed in the **Technology** speciality is aimed to develop the teaching materials needed to complete a learning unit in the Vocational Education 0161 Computer Aided Manufacturing (CAM) subject. This subject is taught in the Production Programming in Mechanical Manufacturing Higher Grade Training Cycle.

Using the **Project Based Learning** methodology (PBL) student will deepen in the so-called **reverse engineering** process. This process consists in replicating an existing product using scanning and rapid prototyping tools together with more tradicional manufacturing tools such as the use of CAM and mill machining.

This proyect will be adapted to the subject's Curriculum requirements expanding them to include new contents. To complete it students will need the usual facilities and tools available in a vocational training center.

**Key words:** *Learning unit, Reverse engineering, Vocational Education, Project Based Learning*

## 2. Introducción

### 2.1 Contextualización

La unidad didáctica planteada en este Trabajo Fin de Master (en adelante TFM) se engloba dentro del Módulo 0161 Fabricación asistida por ordenador (FAO) impartido en el Ciclo formativo de grado superior Programación de la producción en Fabricación Mecánica.

El módulo formativo consta de 70 horas con una carga semanal de 3 horas.

Este Ciclo formativo se imparte en el CIP Virgen del Camino de Pamplona, en dicho centro he realizado los Practicum I y II correspondientes al máster que nos ocupa y por lo tanto es considerado un lugar idóneo para ser tomado como referencia en este TFM. Se ha podido comprobar de primera mano la existencia de medios técnicos y humanos en este centro para poder desarrollar la unidad didáctica que se plantea más adelante.

### 2.2 Normativa

El ciclo formativo Programación de la producción en Fabricación Mecánica es un ciclo de grado superior con una duración de 2.000 horas repartidas en dos años.

Dentro de la Comunidad Foral de Navarra estos estudios están regulados por el **Decreto Foral 48/2009 del 4 de mayo**. En este Decreto Foral se establecen la estructura y el currículo de dicho Ciclo Formativo.

Este currículo desarrolla el Real Decreto 1687/2007, de 14 de diciembre, por el que se establece el título de Técnico Superior en Programación de la Producción en Fabricación Mecánica.

Por otro lado, el Decreto Foral 54/2008, de 26 de mayo, por el que se regula la ordenación y desarrollo de la formación profesional en el sistema educativo en el ámbito de la Comunidad Foral de Navarra, ha definido un modelo para el desarrollo del currículo de los títulos de formación profesional, modelo que introduce nuevos aspectos estratégicos y normativos que favorecen una mejor adaptación a la empresa, una mayor flexibilidad organizativa de las enseñanzas, un aumento de la autonomía curricular de los centros y una más amplia formación al alumnado.

Por ello, la adaptación y desarrollo del currículo del título de Técnico Superior en Programación de la Producción en Fabricación Mecánica a la Comunidad Foral de Navarra responde a las directrices de diseño que han sido aprobadas por el citado Decreto Foral 54/2008, de 26 de mayo.

Según el artículo 2 del mencionado **Decreto Foral 48/2009 del 4 de mayo**, el título de Técnico Superior en Programación de la Producción en Fabricación Mecánica queda identificado por los siguientes elementos:

- a) Denominación: Programación de la Producción en Fabricación Mecánica.
- b) Nivel: 3-Formación Profesional de Grado Superior.
- c) Duración: 2.000 horas.
- d) Familia Profesional: Fabricación Mecánica.
- e) Referente europeo: CINE - 5b (Clasificación Internacional Normalizada de la Educación).

El artículo 4 trata el **currículo** de dicho Ciclo Formativo que se concreta en el Anexo 2 de dicho Decreto Foral. Este anexo enumera los objetivos generales del ciclo y desarrolla cada uno de los módulos profesionales del propio ciclo. A continuación se analizará esta información en el apartado 3 de este documento.

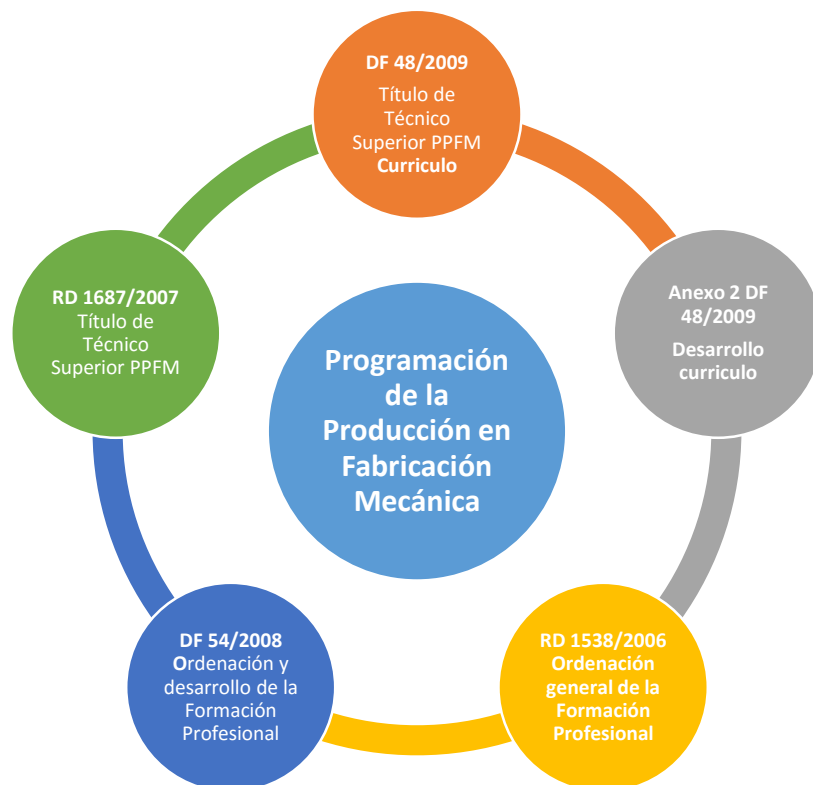


Imagen 1. Esquema normativo

### 3. Modulo Profesional

El módulo profesional que nos ocupa tiene las siguientes características básicas:

Fabricación Asistida por Ordenador (FAO)

Código: 0161

Equivalencia en créditos ECTS: 5

Duración: 70 horas

Según la normativa vigente en la definición de la duración de los módulos de este título se utilizan dos criterios, el número de horas y el número de créditos europeos (ECTS). El primero tiene su interés para organizar la actividad formativa y el segundo es un criterio estratégico relacionado con la movilidad en el espacio europeo y con la convalidación recíproca entre enseñanzas universitarias y ciclos formativos superiores de formación profesional.

Como se ha indicado anteriormente, el Decreto Foral 48/2009 del 4 de mayo establece el currículo del título de Técnico Superior en Programación de la Producción en Fabricación Mecánica. En el anexo 2 de dicho Decreto Foral se desarrollan módulo a módulo los resultados de aprendizaje y criterios de evaluación, los contenidos y las orientaciones didácticas que dichos módulos deben cumplir. A continuación se muestra la información extraída de este documento.

#### 3.1 Resultados de aprendizaje y criterios de evaluación

Se muestran a continuación los resultados de aprendizaje y criterios de evaluación contemplados en el currículo según el Anexo 2 del **Decreto Foral 48/2009 del 4 de mayo**.

Resultados de aprendizaje	Criterios de evaluación
<b>1. Modifica la geometría de la pieza interpretando las especificaciones del proceso de mecanizado, aplicando técnicas de CAD.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>a) Se ha importado la geometría de la pieza a modificar en un formato de intercambio adecuado al software de CAD que se va a emplear</li><li>b) Se han identificado las superficies a mecanizar especificadas en el proceso.</li><li>c) Se ha realizado la manipulación de las superficies para asegurar el mecanizado (orientación, partición, división).</li><li>d) Se han empleado las herramientas de manipulación de superficies y sólidos más adecuadas a la operación a realizar.</li></ul>

	<p>e) Se ha dibujado la geometría auxiliar necesaria para programar las operaciones CAM.</p> <p>f) Se han organizado las nuevas geometrías generadas en capas o niveles de trabajo.</p> <p>g) Se ha generado un archivo informático que contenga el objeto modelado en un formato exportable a un software de CAD/CAM.</p>
<p><b>2. Elabora programas de fabricación asistida por ordenador, analizando las especificaciones del proceso de trabajo, y aplicando técnicas de CAM.</b></p>	<p>a) Se ha configurado el entorno CAM en función a la máquina que se va a emplear.</p> <p>b) Se ha situado correctamente la pieza a mecanizar según los ejes y sistemas de referencia.</p> <p>c) Se han descrito las diferentes estrategias de mecanizado de las operaciones CAM.</p> <p>d) Se han introducido los datos de las herramientas.</p> <p>e) Se ha verificado el programa simulando el mecanizado en el ordenador.</p> <p>f) Se han corregido los errores detectados en la simulación.</p> <p>g) Se ha realizado el postprocesado del programa CAM para el control numérico que se va a utilizar.</p> <p>h) Se ha guardado el programa en el soporte adecuado.</p> <p>i) Se ha mostrado una actitud responsable e interés por la mejora del proceso.</p>



<p><b>3. Organiza su trabajo en la ejecución del mecanizado, analizando la hoja de procesos y elaborando la documentación necesaria.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Se ha identificado la secuencia de operaciones de preparación de las máquinas en función de las características del proceso a realizar.</li> <li>b) Se han identificado las herramientas, útiles y soporte de fijación de piezas.</li> <li>c) Se han relacionado las necesidades de materiales y recursos necesarios en cada etapa.</li> <li>d) Se han establecido las medidas de seguridad en cada etapa.</li> <li>e) Se ha determinado la recogida selectiva de residuos.</li> <li>f) Se han enumerado los equipos de protección individual para cada actividad.</li> <li>g) Se han obtenido los indicadores de calidad a tener en cuenta en cada operación.</li> </ul>
<p><b>4. Ajusta el programa de CAM, comprobando que la pieza mecanizada y el proceso cumplen con las especificaciones establecidas.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Se ha transferido el programa CAM a la máquina de CNC según el procedimiento establecido.</li> <li>b) Se ha comprobado que las trayectorias de las herramientas no generan colisiones con la pieza o con los órganos de la máquina en la simulación en vacío.</li> <li>c) Se ha ajustado el programa de control numérico a pie de máquina para eliminar los errores detectados.</li> </ul>

	<p>d) Se ha verificado la pieza y comprobado sus características.</p> <p>e) Se han compensado los datos de las herramientas o de las trayectorias para corregir las desviaciones observadas en la verificación de la pieza.</p> <p>f) Se han aplicado las normas de prevención de riesgos laborales y protección ambiental requeridas.</p> <p>g) Se ha mantenido una actitud de respeto a las normas y procedimientos de seguridad y calidad.</p>
--	---

### 3.2 Contenidos

Se indican los contenidos recogidos en el currículo agrupados en bloques.

#### **Modificación de geometrías**

Sistemas de representación en 2D.

Sistemas de representación en 3D.

Creación de entidades gráficas.

Manipulación de entidades gráficas.

Formatos de intercambio gráfico.

---

### **Programación asistida por ordenador CAM**

Selección del proceso de mecanizado. Operaciones y herramientas.

---

Definición de herramientas.

---

Generación de trayectorias.

---

Configuración de las operaciones de mecanizado.

---

Estrategias de mecanizado 2 ½ ejes y 3 ejes.

---

Simulación del mecanizado. Mecanizado virtual.

---

Generación del código CNC.

---

---

### **Organización del trabajo**

Interpretación del proceso.

---

Relación del proceso con los medios y máquinas.

---

Distribución de cargas de trabajo.

---

Medidas de prevención y de tratamiento de residuos.

---

Calidad, normativas y catálogos.

---

Planificación de las tareas.

---

Valoración del orden y limpieza durante las fases del proceso.

---

Reconocimiento y valoración de las técnicas de organización.

---

## Ajuste de la programación

Ejecución de operaciones de mecanizado en máquinas herramientas de control numérico.

Ejecución de operaciones de conformado en máquinas herramientas de control numérico.

Empleo de útiles de verificación y control.

Corrección de las desviaciones de las piezas mecanizadas (tolerancias dimensionales, geométricas y superficiales).

Corrección de las desviaciones de las piezas mecanizadas (tolerancias dimensionales, geométricas y superficiales).

### 3.3 Orientaciones didácticas

El Anexo 2 del **Decreto Foral 48/2009 del 4 de mayo** también indica las siguientes orientaciones didácticas:

El objetivo de este módulo es que el alumnado adquiera las destrezas base para desempeñar la función de **Programación de máquinas de CNC** desde un sistema **CAM**. Así mismo, le capacita para preparar las máquinas y fabricar piezas en máquinas de control numérico utilizadas en los diferentes sectores productivos en los que desempeña su actividad. Por lo tanto, resulta imprescindible para adquirir las siguientes competencias profesionales, personales y sociales establecidas en el título:

–Determinar los procesos de mecanizado y asegurar que los procesos de fabricación se ajustan a los procedimientos establecidos.

–Supervisar la programación y puesta a punto de las máquinas de control numérico y asegurar el cumplimiento de las normativas de calidad, prevención de riesgos laborales y protección ambiental.

El alumnado, al finalizar este módulo, debe ser capaz de elaborar un programa de fabricación en máquinas de control numérico, a partir del diseño en formato CAD, así como de organizar el trabajo y ejecutar piezas en diferentes máquinas con el consiguiente control del proceso.

Se sugiere que los contenidos recogidos anteriormente en el apartado correspondiente se secuencien de acuerdo con los siguientes bloques:

- Modificación de geometrías
- Programación CAM
- Ajuste de la programación

Los contenidos de Organización del trabajo sería conveniente que se desarrollen en cada uno de los bloques anteriores incidiendo de forma diferenciada según el aspecto organizativo que tenga mayor trascendencia e importancia en el bloque. Así por ejemplo, en el bloque de ajuste de la programación se insistirá sobre las medidas de prevención y tratamiento de residuos y en los tres se trabajarán los temas de planificación de las tareas y la valoración del orden y limpieza durante el proceso.

**Para abordar con éxito el módulo de CAM es necesario haber adquirido los conocimientos desarrollados en los módulos de Definición de procesos de mecanizado, Interpretación gráfica y Mecanizado por control numérico,** necesarios para la elaboración de programas de CAM. Sería conveniente iniciar el módulo con la realización de dibujos en CAD para posteriormente generar el programa de fabricación.

Las actividades de enseñanza-aprendizaje de carácter práctico que se desarrollen en este módulo pueden versar en torno a las propuestas que se señalan a continuación:

- El análisis del proceso de trabajo, de las fases y operaciones que lo componen, así como de las herramientas y útiles empleados.
- La realización en formato CAD de geometrías sencillas de piezas
- **La obtención de geometrías en 2D y 3D válidas para su tratamiento con aplicaciones CAM.**
- **La obtención de programas de control numérico de máquinas herramientas mediante herramientas CAD / CAM**
- **La preparación de la ejecución del mecanizado y de la adaptación y carga del programa propio de la máquina.**
- **La ejecución del programa de mecanizado para obtener la primera pieza y ajuste requerido en función de los resultados.**
- La elaboración de propuestas de mejora del proceso para aumentar el rendimiento de los equipos.

Con el fin de que el alumnado adquiriera las destrezas exigidas en el mundo laboral, las actividades que se aborden en el módulo tendrán un **enfoque acorde a las necesidades de las empresas de nuestro entorno.**

Las actividades de enseñanza-aprendizaje y evaluación en este módulo se sugiere que se desarrollen en un aula técnica preparada con equipos informáticos en red, con capacidad para trabajar con programas de CAD y que dispongan de un software de CAD-CAM. Para la ejecución de operaciones de mecanizado habrá que contar con el taller de mecanizado de control numérico.

## 4. Ingeniería Inversa. Herramientas empleadas en el proyecto

### 4.1 ¿Qué es la ingeniería inversa?

La **ingeniería inversa** consiste en obtener un diseño a partir de un objeto o producto existente con el fin de replicarlo o determinar cómo fue fabricado.

*“El método se denomina así porque avanza en dirección opuesta a las tareas habituales de ingeniería, que consisten en utilizar datos técnicos para elaborar un producto determinado. En general, si el producto u otro material que fue sometido a la ingeniería inversa fue obtenido de forma apropiada, entonces el proceso es legítimo y legal.”(Wikipedia)*

En el caso del proyecto que nos ocupa vamos a trabajar la ingeniería inversa con el enfoque puesto en la geometría de un objeto, sin centrarnos en cómo fue fabricado. Por lo tanto a partir de un objeto físico existente procederemos a su reproducción valiéndonos de las herramientas que se exponen a continuación.

El flujo de trabajo en este proceso sería el mostrado en el siguiente gráfico:

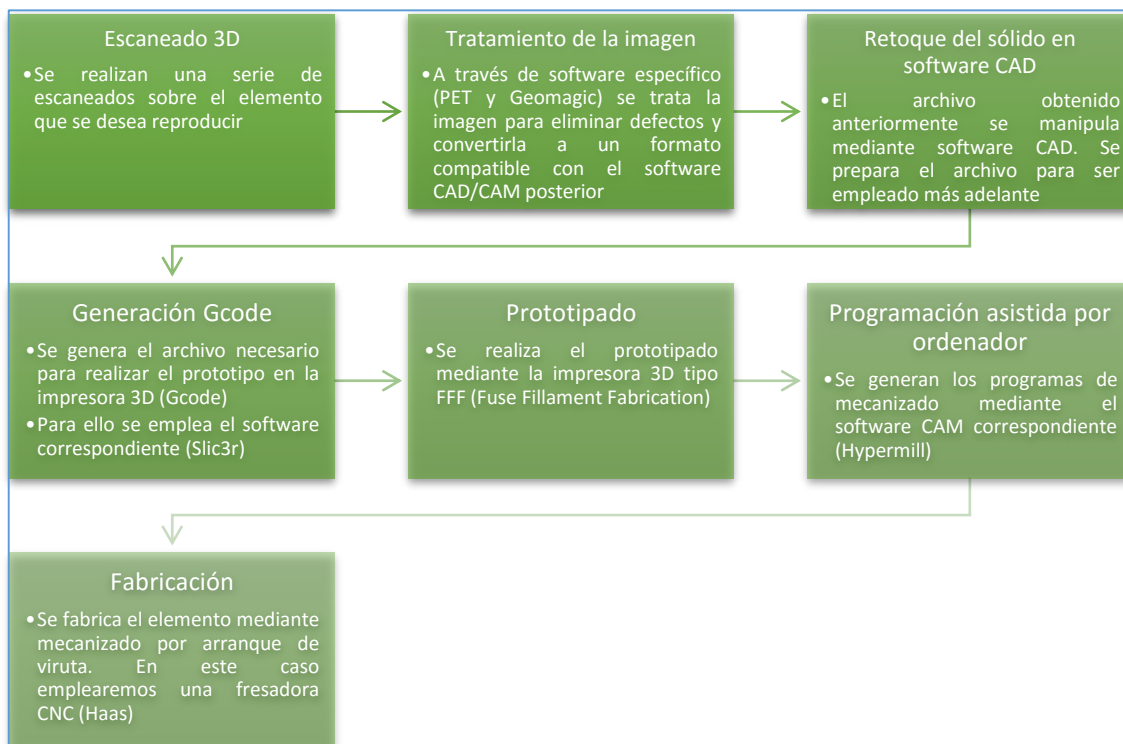


Imagen 2. Flujo de trabajo en ingeniería inversa

### 4.2 Escáner 3D

El uso de escáneres 3D es algo cada vez más común en el mundo industrial. Es por ello que muchos centros de formación profesional han adquirido aparatos de este tipo para trabajar con los alumnos e introducirlos en el uso de esta tecnología.

Con el paso de los años la tecnología de estos aparatos ha ido evolucionando y su precio se ha vuelto más asequible. Esto hace que cada vez sea más fácil tener disponible un escáner 3D en los centros de formación o de trabajo.

Podemos encontrar en la Wikipedia información sobre la funcionalidad y el funcionamiento de estos aparatos.

*“Un escáner 3D es un dispositivo que analiza un objeto o una escena para reunir datos de su forma y ocasionalmente su color. La información obtenida se puede usar para construir modelos digitales tridimensionales que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones. Desarrollados inicialmente en aplicaciones industriales (metrología, automóvil), han encontrado un vasto campo de aplicación en actividades como la arqueología, arquitectura, ingeniería, y entretenimiento (en la producción de películas y videojuegos).” (Wikipedia)*

Al emplear un escáner 3D obtendremos generalmente una nube de puntos que tendremos que tratar para obtener la geometría final del objeto. A este proceso se le denomina reconstrucción.

Los escáneres 3D obtienen información de la geometría de un objeto capturando la posición en el espacio tridimensional de cada punto analizado.

En la mayor parte de los casos no será suficiente con realizar un escaneo sobre el objeto a analizar sino que serán necesarios varias tomas, en función de la complejidad del objeto para poder definirlo completamente. Se necesitará por tanto escanear el objeto desde distintos ángulos para captar la información de todos sus lados y por tanto de toda su geometría. Una vez obtenidos los múltiples escaneos será necesario integrarlos mediante un proceso denominado alineación.



Imagen 3. Escáner 3D Minolta VI-910

Para poder realizar diferentes escaneos, es muy útil disponer de una mesa giratoria sincronizada con el escáner de manera que se puede programar la toma de  $x$  capturas haciendo girar la mesa  $360^\circ/x$  entre una captura y la siguiente. De esta manera barremos los  $360^\circ$  del objeto consiguiendo definirlo completamente.

Para la realización de este proyecto se ha empleado un escáner de la marca **Minolta modelo VI-910**. Este modelo está disponible en varios centros de FP de Navarra, concretamente se ha empleado el disponible en el CIP Virgen del Camino y el del CIP Tafalla, este último con mesa giratoria sincronizada.

Para la realización de los escaneos y el tratamiento de las imágenes obtenidas es necesario disponer de software específico. En nuestro caso hemos empleado dos softwares diferentes:

- **PET (Poligon Editing Tool).** Software específico del escáner Minolta y que hace las veces de interfaz entre el escáner y el usuario.

A través de este software podemos indicar la distancia focal y la intensidad del láser así como el número de capturas que deseamos realizar y por tanto el ángulo que deberá girar la mesa entre sucesivos escaneos. En cada uno de los escaneos el software genera una nube de puntos y la guarda antes de proceder con el siguiente escaneo.

Una vez tenemos las distintas capturas debemos proceder a alinearlas para formar una única imagen que englobe todas las capturas realizadas en los 360° del objeto. Esto puede hacerse de forma automática o manual en función de la complejidad de las superficies que estamos escaneando. En nuestro caso procederemos con el modo automático al tratarse de superficies relativamente sencillas.

Este software también ofrece la opción de cerrar (coser) agujeros generados en la nube de puntos durante el escaneo. Es habitual obtener imperfecciones de este tipo que han de ser corregidas. Podemos proceder de nuevo de forma automática o manual. Lo más recomendable es ejecutar primero la opción automática y después coser de manera manual los agujeros que hayan quedado sin resolver.

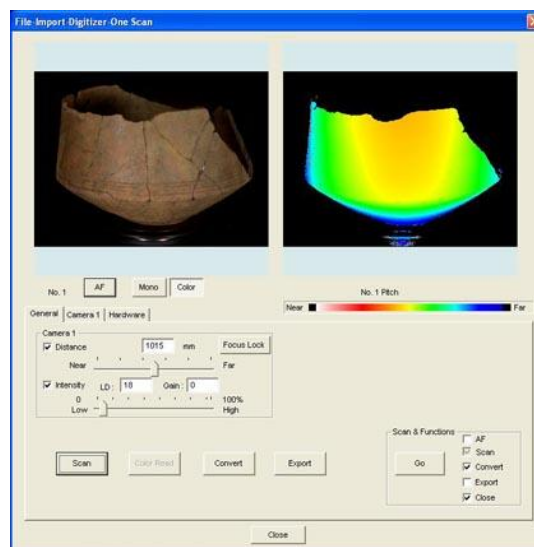


Imagen 4. Poligon Editing Tool (PET)

- **Geomagic Wrap 2014.** Software de la casa 3DSystems desarrollado para trabajar con archivos generados en escáneres 3D. En este programa se pueden realizar multitud de operaciones. En nuestro caso lo utilizaremos para depurar la calidad de las nubes de puntos eliminando puntos no definidos y para generar el archivo sólido en formato STEP que más adelante exportaremos al software de diseño CAD Autodesk Inventor.



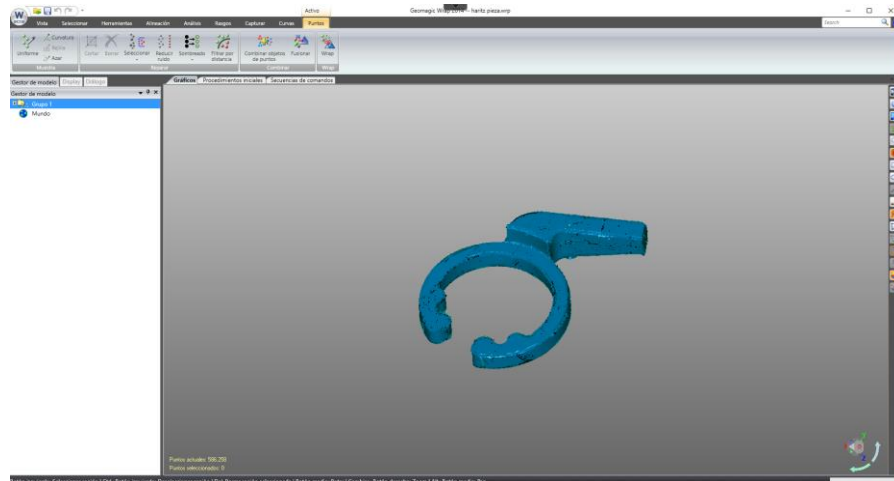


Imagen 5. Captura pantalla Geomagic Wrap 2014

#### 4.3 Impresora 3D tipo FFF

En la actualidad las impresoras 3D son herramientas muy utilizadas en infinidad de situaciones y en múltiples sectores. Desde su creación hasta el momento actual han evolucionado enormemente y hoy en día disponemos de muchos tipos de impresoras que emplean distintas tecnologías y que son capaces de imprimir con gran variedad de materiales desde plástico hasta metal en las más avanzadas.

Una de las grandes ventajas de este tipo de impresoras es su versatilidad ya que pueden fabricar infinidad de productos, muchos de ellos imposibles de fabricar con otro tipo de tecnología.



Imagen 6. Objeto fabricado mediante impresión 3D

En el desarrollo de este proyecto hemos empleado una impresora 3D de tipo FFF (Fused Filament Fabrication). Este tipo de impresoras emplean material plástico para fabricar los prototipos. Son las más asequibles económicamente y las más sencillas de utilizar por estos dos motivos son las impresoras de este tipo las que más se han extendido a nivel doméstico y también a nivel educativo como es nuestro caso. Muchos centros de formación disponen ya de una o varias impresoras de este tipo y el CIP Virgen del Camino es uno de ellos.

A continuación se explica brevemente el funcionamiento de este tipo de máquinas.

El principio de funcionamiento de estas impresoras consiste en hacer circular un filamento de plástico de un diámetro determinado por una boquilla previamente calentada a una temperatura de unos 200-260°C (en función del material) produciendo la fusión del material plástico y depositándolo en sucesivas capas de material que van formando la pieza a fabricar. Al conjunto de la boquilla con el motor que guía el filamento y el resto de componentes se le denomina conjunto extrusor.

Una máquina típica de este tipo consta de 3 ejes. El extrusor se desplazará por los ejes X e Y formando los planos paralelos a la base de la impresora y el eje Z es el que proporciona altura a las capas de material plástico depositado. En el esquema inferior puede verse una impresora 3D típica de forma simplificada.

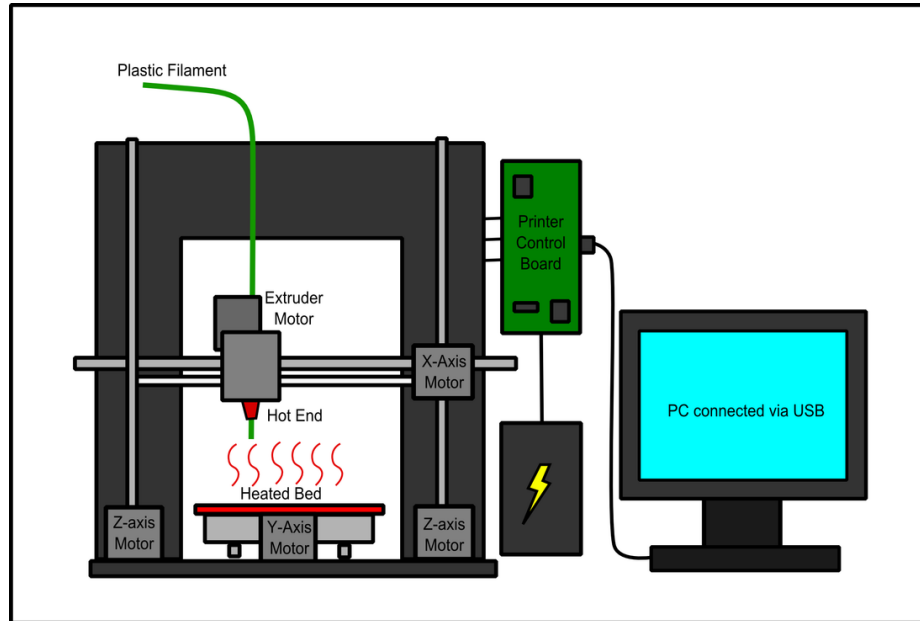


Imagen 7. Esquema impresora 3D

Los movimientos de los ejes y demás parámetros de la impresora están controlados por una placa electrónica de manera que el proceso es totalmente autónomo. Dependiendo del tipo de materiales a emplear, existen máquinas con la base calefactable pero esto no es un requisito indispensable.

El archivo a imprimir en la máquina se puede cargar bien via tarjeta SD o bien mediante un cable USB directamente conectado al ordenador.

El tipo de lenguaje que interpretan estas máquinas se denomina Gcode.



Imagen 8. Impresora tipo FFF de la casa Bq

Existe una comunidad internacional de usuarios y desarrolladores de este tipo de impresoras que han unido sus esfuerzos para crear una gama de impresoras 3D denominadas **reprap** cuya filosofía es fabricar máquinas que sean asequibles para todo

tipo de usuarios y que sean autorreplicables de manera que parte de las piezas que forman la impresora han sido previamente creadas mediante otra impresora similar. Este proyecto resulta especialmente interesante porque todo el trabajo realizado es en código abierto (open source) esto incluye desde el software de la propia impresora hasta el hardware de la misma. Es decir toda la información necesaria para construir una máquina de este tipo esta accesible para cualquier usuario. Esto puede resultar interesante como un futuro proyecto a realizar con los alumnos; el montaje completo de una impresora 3D.

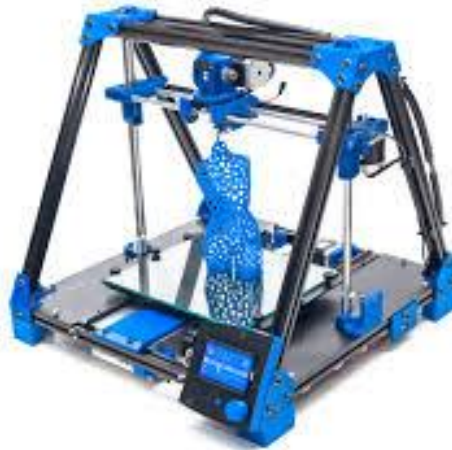


Imagen 9. Impresora tipo FFF reRap

Para generar los programas de Gcode necesarios para imprimir una pieza existen diversos softwares en el mercado, la gran mayoría de ellos gratuitos. Estos programas calculan las trayectorias de la cabeza del extrusor para poder completar la pieza capa a capa, es decir “filetean” la pieza en capas muy finas para que la máquina las vaya completando una a una desde la base hasta la última capa de la pieza. Dos muy utilizados son Cura y Slic3r.

- En este proyecto trabajaremos con un software llamado **Repetier Host** que hace de interfaz entre el usuario y Slic3r ofreciendo además opciones adicionales.

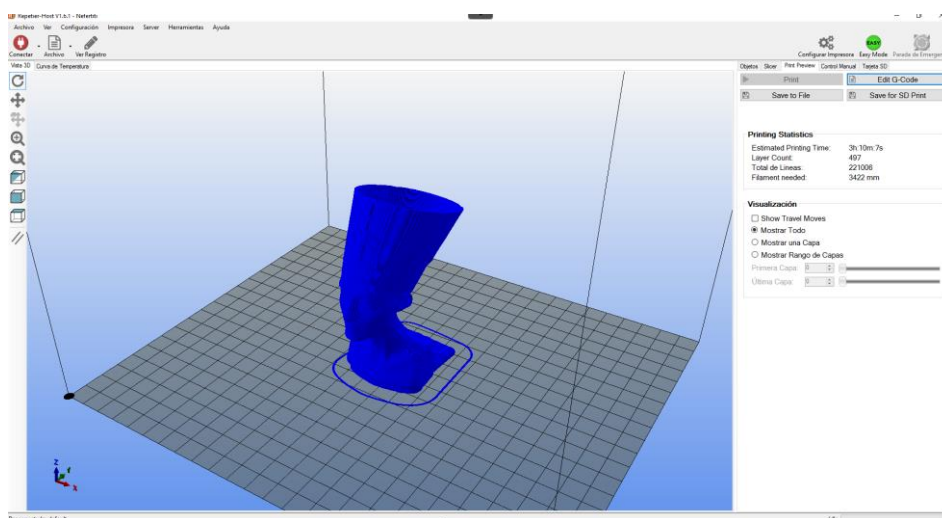


Imagen 10. Captura de pantalla software Repetier-Host

#### 4.4 Diseño y fabricación asistida por ordenador (CAD/CAM)

La programación por control numérico en los diferentes lenguajes de programación es rápida y precisa en piezas con geometrías sencillas y regulares. De hecho su uso sigue siendo importante dentro de la industria de fabricación mecánica.

Sin embargo la tecnología CAD/CAM está desplazando al control numérico ya que ofrece mayor versatilidad y sencillez además de producir un ahorro de costes aumentando la calidad y reduciendo el tiempo de diseño y producción.

CAD (Computer-Aided Design) y CAM (Computer Aided Manufacturing) son un binomio muy potente a la hora de programar en lenguaje máquina pudiendo determinar todos los parámetros tales como herramientas y estrategias de mecanizado y ofreciendo la posibilidad de simular virtualmente la ejecución del programa para detectar posibles errores antes de su procesamiento.

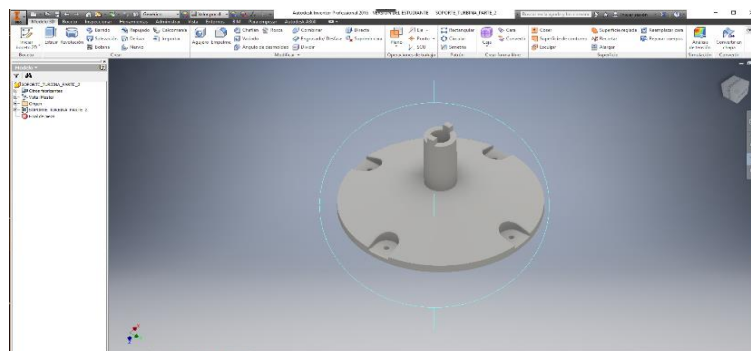


Imagen 11. Captura de pantalla software Autodesk Inventor

En este proyecto partiremos del archivo depurado obtenido inicialmente con el escáner 3D para una vez abierto con el software **CAD Autodesk Inventor** poder trabajar con el software **CAM Hypermill** que funciona integrado en Inventor.

En CAD realizaremos operaciones básicas consistentes en ubicar el objeto a mecanizar dentro de un paralelepípedo para que posteriormente el programa sepa las dimensiones del bruto de partida.

Una vez en el CAM realizaremos el proceso que se resume a continuación:

- Reconocimiento de las superficies 3D
- Definición de ejes y cero pieza
- Configuración de herramientas necesarias y sus parámetros
- Configuración de las tareas (operaciones) a realizar con sus parámetros
- Cálculo de las operaciones de mecanizado
- Simulación del proceso completo
- Elección de la máquina y el postprocesador (para obtener los programas)
- Postprocesado
- Retoques necesarios en el programa obtenido si procede

#### 4.5 Fresadora 3 ejes Haas

Existen distintos tipos de fresadoras en función de sus configuraciones, una de las clasificaciones más comunes consiste en diferenciarlas por el número de ejes que tienen. En este proyecto vamos a trabajar con fresadoras de 3 ejes de la casa Haas modelo TM1.

Esta fresadora tiene unas dimensiones de mesa de 1213 x 267 mm y un recorrido máximo de sus ejes de:

Eje X 762 mm

Eje Y 305 mm

Eje Z 406 mm

Esta fresadora trabaja con control Haas y tiene cambio de herramientas manual.

Por lo tanto es una fresadora adecuada para el tipo de trabajo que estamos planteando ya que sus dimensiones son acordes al tipo de piezas a mecanizar.

Al trabajar con esta fresadora deberá tenerse en cuenta que al tener 3 ejes en muchas ocasiones necesitaremos trabajar con varios programas en la misma pieza para poder atacar todos sus lados correctamente y obtener un resultado adecuado.



Imagen 12. Fresadora Haas 3 ejes

## 5. La unidad didáctica

### 5.1 Descripción

La unidad didáctica planteada en este TFM trata de dar un enfoque práctico al módulo formativo **0161 Fabricación Asistida por Ordenador**. Esta unidad didáctica se llevará a cabo durante el segundo trimestre del curso (segunda evaluación). Al tratarse de un módulo que se imparte en el 2º curso del Ciclo Formativo, esta unidad didáctica encaja perfectamente en la segunda evaluación ya que en la primera los alumnos todavía no tienen los conocimientos necesarios para abordar este proyecto y en la tercera y última evaluación realizan la Formación en Centros de Trabajo (FCT).

Esta unidad didáctica engloba prácticamente todos los contenidos del módulo además de incluir otros nuevos como son los relacionados con el escaneado 3D y el prototipado rápido o impresión 3D.

Si la incluimos en la segunda evaluación garantizaremos que los alumnos tendrán los conocimientos necesarios en lo relativo a CAM y mecanizado con fresadora que ya habrán trabajado a lo largo de la primera evaluación.

#### Recursos necesarios

Para la realización de esta unidad didáctica se emplearán los siguientes recursos que han sido descritos con anterioridad:

- Escáner 3D Minolta VI-910.
- Software de procesamiento de imágenes digitales. P.E.T. y Geomagic Wrap 2014
- Ordenador tipo PC con los requisitos necesarios de memoria y tarjeta gráfica para poder trabajar con programas de diseño y simulación CAD/CAM.
- Autodesk Inventor (CAD) para realizar el diseño de los componentes que más adelante se simularán en el proceso de mecanizado.
- Hypermill (CAM) para realizar las simulaciones necesarias y preparar los programas de control numérico (CNC) para el mecanizado de las piezas.
- Impresora 3D de tipo FFF (Fused Filament Fabrication).
- Software Repetier-Host (Slic3r) para generación de Gcode
- Fresadora 3 ejes Haas TM1

La forma de trabajar esta unidad didáctica en el aula será bastante flexible pudiendo adaptarse al nivel del alumnado y a los medios de que disponga el centro.

Es una unidad didáctica planteada para ser trabajada en formato proyecto que los alumnos realizarán por parejas. Cada pareja de alumnos deberá escoger una pieza sencilla a partir de la cual se realizará todo el proceso conocido como ingeniería inversa. El profesor dará algunas ideas para ayudar a los alumnos a escoger un elemento factible buscando siempre un nivel de complejidad asumible.



## 5.2 Justificación

La elaboración y simulación de procesos de mecanizado mediante CAD-CAM es un proceso muy utilizado en la industria actualmente. Gran parte de los procesos de fabricación por arranque de viruta que entrañan cierta complejidad se programan y simulan mediante el uso de esta técnica. Por esta razón este Ciclo Formativo dedica un módulo expresamente para trabajar esta tecnología.

Sin embargo en los últimos años se están desarrollando nuevas técnicas de diseño y fabricación que pueden tener gran impacto en los métodos de fabricación del futuro. Hablamos de las impresoras y escáneres 3D. Estas herramientas comienzan a ser empleadas en determinados sectores punteros pero algún día pueden llegar a ser comunes en las industrias que nos rodean.

Por este motivo se considera interesante introducir a los alumnos en este terreno novedoso para que tengan una visión más amplia de las posibilidades que ofrece y para que se familiaricen con el uso de estas herramientas que probablemente acabarán integradas en los procesos de muchos puestos de trabajo.

Por lo tanto en este trabajo se pretende integrar estos dos nuevos conceptos (impresora y escáner 3D) en un módulo formativo como es el de Fabricación Asistida por Ordenador y de manera complementaria a los contenidos ya de por sí exigidos en el mismo según su currículo oficial (ver apartado 3 de este documento).

Mediante la elaboración de un proyecto de ingeniería inversa, los alumnos trabajarán todo el proceso de fabricación de un elemento replicando otro elemento idéntico ya existente.

## 5.3 Conocimientos previos

Para poder seguir este módulo formativo con aprovechamiento será necesario haber cursado anteriormente los módulos de Definición de procesos de mecanizado, Interpretación gráfica y Mecanizado por control numérico todos ellos módulos impartidos en primer curso de este Ciclo Formativo que se consideran por tanto cursados y aprobados. Con ello garantizaremos que:

- Conocen los procesos de mecanizado existentes. Esto incluye: las operaciones empleadas en el mecanizado, tipos de máquinas herramienta, herramientas de trabajo en dichas máquinas, parámetros de trabajo (Velocidades de corte, avances, velocidades de giro...).
- Tienen unos conocimientos avanzados en el uso del programa de diseño por ordenador (CAD) Autodesk Inventor que es el empleado en el centro Virgen del Camino y en el resto de centros de Formación Profesional públicos de Navarra.
- Están familiarizados con la programación por control numérico (CNC), concretamente con el lenguaje de programación Haas.

## 5.4 Contenidos

Los contenidos específicos que se tratan en esta Unidad didáctica se mencionan a continuación agrupados en bloques y ordenados en función de las etapas del proceso completo de ingeniería inversa.

Se indican con un asterisco (\*) los contenidos especificados directamente en el currículo del módulo en cuestión.

### Escaneado 3D

- Sistemas de escaneado 3D existentes
- Funcionamiento escáner 3D
- Tratamiento de las imágenes obtenidas a partir del escaneado
- Formatos de trabajo universales

### Prototipado rápido

- Sistemas de impresión 3D
- Funcionamiento de impresora 3D tipo FFF
- Estrategias de impresión 3D
- Parámetros de la impresora
- Generación del Gcode

### Diseño asistido por ordenador

- Importación de archivo desde escáner 3D
- Sistemas de representación en 2D. (\*)
- Sistemas de representación en 3D. (\*)
- Creación de entidades gráficas. (\*)
- Manipulación de entidades gráficas. (\*)
- Formatos de intercambio gráfico. (\*)

### Programación asistida por ordenador

- Selección del proceso de mecanizado. Operaciones y herramientas. (\*)
- Definición de herramientas. (\*)
- Generación de trayectorias. (\*)
- Configuración de las operaciones de mecanizado. (\*)
- Estrategias de mecanizado 2 ½ ejes y 3 ejes. (\*)
- Simulación del mecanizado. Mecanizado virtual. (\*)
- Generación del código CNC. (\*)

### Ajuste de la programación:

- Ejecución de operaciones de mecanizado en máquinas herramientas de control numérico. (\*)
- Ejecución de operaciones de conformado en máquinas herramientas de control numérico. (\*)
- Empleo de útiles de verificación y control. (\*)



- Corrección de las desviaciones de las piezas mecanizadas (tolerancias dimensionales, geométricas y superficiales). (\*)
- Identificación y resolución de problemas. (\*)

Como se puede observar hay contenidos incluidos en esta unidad didáctica complementarios a lo especificado en el currículo pero siempre relacionados con la materia que se está trabajando.

### 5.5 Metodología

Al tratarse de una unidad didáctica orientada a formación profesional y como es de esperar en este tipo de estudios, se le dará un enfoque eminentemente práctico con poca carga teórica y mucho trabajo práctico por parte de los alumnos tanto en aula informática como en taller.

La metodología a emplear consistirá en la realización de un proyecto por parte de cada pareja de alumnos siguiendo todo el proceso conocido como ingeniería inversa. Para ello el profesor indicará ejemplos a modo de idea que pueden emplearse para completar este proyecto. Siempre habrá que procurar escoger un elemento que tenga cierta complejidad para sacar el máximo partido al trabajo pero que sea factible teniendo en cuenta las limitaciones técnicas del propio centro.

Emplearemos por tanto la metodología conocida como **Aprendizaje Basado en Proyectos** cuya descripción sería: *“Método de enseñanza-aprendizaje en el que los estudiantes llevan a cabo la realización de un proyecto en un tiempo determinado para resolver un problema o abordar una tarea mediante la planificación, diseño y realización de una serie de actividades y todo ello a partir del desarrollo y aplicación de aprendizajes adquiridos y del uso efectivo de recursos.”* De Miguel, Mario (2006) Modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de competencias.

Según este mismo autor, la finalidad de esta metodología es *“la realización de un proyecto para la resolución de un problema, aplicando habilidades y conocimientos adquiridos.”*

Vamos a analizar en la siguiente tabla las ventajas e inconvenientes de trabajar con esta metodología:

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Los estudiantes aprenden a tomar sus propias decisiones y a actuar de forma independiente.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad de actuar con estudiantes poco motivados o con experiencias negativas en su rendimiento académico.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mejora la motivación para aprender porque se apoya en la experiencia y favorece el establecimiento de objetivos relacionados con la tarea.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad de aplicar el método con estudiantes que carezcan de conocimientos y experiencias relacionadas con los contenidos sobre los que se desea aplicar el método.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Permite aplicar los conocimientos, habilidades y actitudes adquiridas a situaciones concretas, con la consiguiente mejora de las competencias correspondientes.</b></li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Favorece un aprendizaje integrador (aprendizajes de conocimientos, metodológicos, sociales y afectivos).</b></li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fortalece la confianza de los estudiantes en sí mismos.</b></li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fomenta formas de aprendizaje investigador.</b></li> </ul>	

Puede observarse que las ventajas superan a los inconvenientes sin embargo será preciso mostrar mucha atención a estos últimos para intentar minimizarlos y que la experiencia sea satisfactoria.

Parece una metodología muy adecuada para ser trabajada con alumnos de segundo curso de Grado Superior ya que estos se encuentran a las puertas de comenzar su carrera profesional y las competencias que necesitan para desarrollar este proyecto son muy similares a las necesarias en un su futuro puesto de trabajo.

Uno de los puntos más destacados a la hora de elegir esta metodología es que los alumnos trabajen de forma **autónoma** aplicando los conocimientos ya adquiridos y viendo la necesidad de adquirir nuevos conocimientos para llevar su proyecto a buen puerto.

## 5.6 Desarrollo de actividades

Como se ha mencionado anteriormente, esta unidad didáctica está planteada en la segunda evaluación del curso. Esta evaluación consta de 57 días lectivos tomando como ejemplo el curso 2015-2016 comenzando el 7 de diciembre y finalizando el 18 de marzo como puede observarse en la imagen inferior.

CIP VIRGEN DEL CAMINO 2015 - 2016																																																							
SEPTIEMBRE '15							OCTUBRE '15							NOVIEMBRE '15							DICIEMBRE '15							ENERO '16																											
L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D																					
1	2	3	4	5	6					1	2	3	4		1	2	3	4	5	6							1	2	3																										
7	8	9	10	11	12	13	5	6	7	8	9	10	11	2	3	4	5	6	7	8	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10																					
14	15	16	17	18	19	20	12	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	13	14	15	14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17																					
21	22	23	24	25	26	27	19	20	21	22	23	24	25	16	17	18	19	20	21	22	21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24																					
28	29	30					26	27	28	29	30	31		23	24	25	26	27	28	29	28	29	30	31				25	26	27	28	29	30	31																					
														30																																									
FEBRERO '16							MARZO '16							ABRIL '16							MAYO '16							JUNIO '16																											
L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D																					
1	2	3	4	5	6	7								1	2	3	4	5	6	7						1			1	2	3	4	5																						
8	9	10	11	12	13	14	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10	2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11																						
15	16	17	18	19	20	21	14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17	9	10	11	12	13	14	15	13	14	15	16	17	18																						
22	23	24	25	26	27	28	21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24	16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25																						
29							28	29	30	31				25	26	27	28	29	30		23	24	25	26	27	28	29	27	28	29	30																								
																					30	31																																	
Sesiones de Evaluaciones							días							Fecha Patrón Nivel							Fecha de comienzo de las clases							Fecha de finalización de las clases							Nº total de días lectivos																				
1ª Eval.							2ª semana Dic							58							04Dic'15							10Sep'15							16Jun'16							175													
2ª Eval							4ª semana Marzo							57							Fecha Patrón Localidad							30Nov'15																											
3ª Eval-1ºFO							3ª semana Junio							57							Día del Centro							04Feb'16																											
2ª Final Ord							4ª semana Junio							3																																									
																					1er. Día							2º día							3er. Día							4º día							5º día						
																					08-feb							09-feb							10-feb							11-feb							12-feb						
Días laborales no lectivos Opcionales:																																																							

Sesión 1	Duración	Lugar	Materiales	Software
	3 horas	Aula informática	Ordenadores y proyector	

### Desarrollo

Esta primera sesión se desarrolla en el aula informática propia de este módulo en la cual ya se han desarrollado las sesiones de la primera evaluación.

En primer lugar se explica a los alumnos el proyecto a trabajar durante la segunda evaluación así como la metodología a seguir. También se les entrega el calendario con las sesiones restantes hasta final de la evaluación para que sepan en todo momento en que punto del proyecto se encuentran.

Se les dejará formar las parejas libremente, en este caso partimos de un grupo par de alumnos, en caso de ser impares no hay mayor problema en formar un grupo de 3 alumnos.

Se les muestra algún ejemplo realizado por el profesor o por alumnos de años anteriores. Es importante que los alumnos capten bien la esencia del proyecto y comiencen a pensar en el elemento que quieren utilizar para el desarrollo de este trabajo.

También se especifica los entregables que todas las parejas tienen que proporcionar para la fecha de entrega planificada.

Se pide a los alumnos que traigan los objetos físicos que escojan para la próxima sesión ya que se comenzará con el escaneo de los objetos.

Sesión 2	Duración	Lugar	Materiales	Software
	3 horas	Aula escaneado	Escáner 3D y ordenadores	PET

### Desarrollo

La segunda sesión tiene lugar en el aula destinada al escáner 3D. Este es un aparato delicado y que necesita unas condiciones de luz determinadas por lo tanto es preferible no desplazarlo de un aula a otra.

Se hace una breve explicación del funcionamiento del aparato: calibración, elección de la lente, interfaz ordenador-escáner, toma de imágenes, etc.

Se comienza a escanear los objetos traídos por los alumnos. En esta operación el profesor debe ser el que maneje principalmente el escáner 3D para no perder demasiado tiempo y para asegurar un correcto uso del mismo al tratarse de una herramienta delicada. Además hay que tener presente que las 8 parejas de alumnos deben ser capaces de escanear y realizar el primer tratamiento de imágenes con PET (Polygon Editing Tool) en esta sesión y la siguiente.

Se toma como referencia 4 capturas por cada objeto para no extender excesivamente el trabajo. Puede haber algún objeto que necesite más capturas por su complejidad, esto se analizará en el momento. En general con 4 capturas (cada 90°) los objetos escaneados suelen tener una definición aceptable para el propósito de este proyecto.

Sesión 3	Duración	Lugar	Materiales	Software
	3 horas	Aula escaneado	Escáner 3D y ordenadores	PET

### Desarrollo

En la tercera sesión se continúa en el aula destinada al escáner 3D al igual que en la sesión anterior. Como es muy probable que en una sesión no haya sido posible escanear todos los objetos, se termina en esta sesión y conforme los alumnos van obteniendo los escaneos de sus objetos trabajarán el tratamiento de las imágenes con el software PET y la ayuda del profesor.

Las operaciones a realizar en este primer software son básicamente dos:

1. Montar las distintas imágenes obtenidas del escáner y alinearlas
2. Tapar los posibles agujeros existentes de forma automática o manual

Este primer tratamiento de la imagen es de gran importancia y debe hacerse con detenimiento y detalle ya que es el punto de partida de todo el trabajo posterior y una mala ejecución de este paso puede perjudicar el resultado final del trabajo. Por ello, si alguna de las parejas no ha tenido resultados satisfactorios durante el escaneo y esto genera muchas dificultades durante el tratamiento de la imagen, se analizarán las causas y en caso necesario se repetirá la operación de escaneo.

También se puede dar el caso de que alguna de las piezas propuestas por los alumnos sea excesivamente compleja y los resultados no sean por tanto aceptables. Ante esta situación lo más recomendable será cambiar de pieza y comenzar de nuevo el trabajo con esta nueva elección. El criterio del profesor es muy importante en esta situación ya que es quien mejor conoce las características técnicas del escáner 3D y sus limitaciones.

Sesión 4	Duración	Lugar	Materiales	Software
	3 horas	Aula informática	Ordenadores	Geomagic Wrap

#### Desarrollo

La cuarta sesión se desarrolla en el aula informática habitual del módulo. Los alumnos trabajan en parejas los archivos obtenidos en las sesiones anteriores gracias al escaneado 3D. Empleando el software Geomagic Wrap se realizan los retoques necesarios para que la pieza tenga la calidad necesaria para ser prototipada y mecanizada en la fresadora. Este es un software complejo con muchas funciones por ello el profesor dará las explicaciones necesarias para que los alumnos sean capaces de utilizar aquellas que necesiten para la correcta ejecución del tratamiento de la imagen.

Los alumnos deben obtener el archivo en los formatos STL y STEP para poder utilizarlo en las sesiones posteriores. El formato STP será el empleado directamente para el prototipado rápido y el STEP será utilizado para el posterior trabajo con el software CAD/CAM.

Sesión 5	Duración	Lugar	Materiales	Software
	3 horas	Aula informática	Ordenadores Impresora 3D	Repetier-Host

### Desarrollo

En la quinta sesión se introducen los conceptos fundamentales sobre impresión 3D. Tipos de impresoras existentes en el mercado, diferentes tecnologías de impresión 3D, aplicaciones, etc.

También se comienza a trabajar con el software Repetier-Host (Slic3r) empleado para generar archivos Gcode a partir de STL. Los archivos Gcode son los que debemos ejecutar en la impresora 3D para realizar los prototipos.

Se realizan pruebas con distintas configuraciones y el profesor muestra ejemplos físicos para que los alumnos comprendan la importancia de los principales factores que afectan a este tipo de impresoras:

- Temperaturas de extrusor y cama caliente
- Velocidades y aceleraciones en los ejes de la máquina
- Infill
- Uso de raft y brim
- Distintos materiales plásticos
- Altura de capa
- Movimientos de cada eje (X Y Z)

Durante esta sesión también se enseñará el funcionamiento de la impresora 3D disponible en el centro para que los alumnos se familiaricen con ella.



Sesión 6	Duración	Lugar	Materiales	Software
	3 horas	Aula informática	Ordenadores Impresora 3D	Repetier-Host

### Desarrollo

En la sexta sesión los alumnos trabajan en parejas para obtener cada una de ellas su archivo Gcode apto para ser impreso en 3D. La sesión tiene lugar en el aula informática habitual. En función de la pieza escogida por cada alumno se deberán tener en cuenta los parámetros seleccionados para la impresión 3D.

El proceso de impresión es lento por lo que es inviable realizar los prototipos durante las sesiones de clase. Por lo tanto será responsabilidad del profesor cargar los archivos elaborados por los alumnos en la impresora e imprimirlos a lo largo de las semanas siguientes. Para que los alumnos vean y comprendan el procedimiento se puede hacer durante esta sesión una la demostración con uno cualquiera de los prototipos a imprimir.

Es habitual en este tipo de impresoras y más cuando el usuario no está familiarizado con las mismas que se obtengan defectos en los prototipos. Muchas veces esto viene provocado por una mala elección de los parámetros a la hora de generar el Gcode. El profesor revisará por tanto el trabajo hecho por los alumnos antes de imprimir los prototipos para detectar posibles errores y advertir a los alumnos para que los subsanen antes de mandar el archivo a imprimir.

Sesión 7	Duración	Lugar	Materiales	Software
	3 horas	Aula informática	Ordenadores	Inventor Hypermill

### Desarrollo

En la séptima sesión comienza el trabajo de creación de los programas de mecanizado con ayuda del software CAD/CAM. La sesión se desarrolla en el aula informática habitual del módulo. Los alumnos trabajan en parejas utilizando el software Autodesk Inventor (CAD) e Hypermill (CAM) para obtener los programas necesarios para mecanizar los objetos elegidos.

El proceso de trabajo de manera resumida es el siguiente:

- Reconocimiento de las superficies 3D
- Definición de ejes y cero pieza
- Configuración de herramientas necesarias y sus parámetros
- Configuración de las tareas (operaciones) a realizar con sus parámetros
- Cálculo de las operaciones de mecanizado
- Simulación del proceso completo
- Elección de la máquina y el postprocesador (para obtener los programas)
- Postprocesado
- Retoques necesarios en el programa obtenido si procede

En esta sesión los alumnos pondrán en práctica todo lo aprendido durante la primera evaluación que en definitiva es el uso del software Hypermill y el proceso a seguir para crear los programas de mecanizado teniendo en cuenta los parámetros técnicos más importantes.

Es importante destacar que en muchas ocasiones dependiendo de la geometría del objeto a fabricar será necesario realizar más de un programa para mecanizar la pieza completa. Esto se debe a que al trabajar con una fresadora de 3 ejes, no es posible mecanizar geometría que contengan contrasalidas. Esto deberá ser analizado en cada caso y decidido por los alumnos consultando al profesor.

Sesión 8	Duración	Lugar	Materiales	Software
	3 horas	Aula informática Taller	Ordenadores Fresadora CNC	Inventor Hypermill

### Desarrollo

La octava sesión será la continuación de la anterior y en ella los alumnos terminarán de generar los programas CNC ayudados del software CAD/CAM. En caso de que alguno de los alumnos haya terminado los programas correctamente, podría comenzar a preparar el mecanizado de la pieza ya que la operación de mecanizado es cuello de botella por el tiempo que requiere su preparación y ejecución dado el número de máquinas de CNC disponibles (en el CIP Virgen del Camino hay 3 fresadoras de CNC).

Como el aula informática donde se desarrolla el módulo esta contigua al taller de mecanizado, los alumnos pueden trabajar simultáneamente en el taller y en el aula dando esto mucha flexibilidad de trabajo.

Sesión 9	Duración	Lugar	Materiales	Software
	3 horas	Taller Aula informática	Ordenadores Fresadora CNC	Inventor Hypermill

### Desarrollo

La novena sesión se desarrollará en el taller de mecanizado y en ella los alumnos prepararán el material necesario para comenzar a mecanizar la pieza en la fresadora CNC. Sabiendo las medidas de la pieza final a obtener prepararán el material en bruto de partida. Para poder dar más velocidad a la operación de mecanizado, se trabajará con material tipo PVC ya que este permite mayores velocidades de mecanizado y no requiere el uso de taladrina haciendo el proceso más rápido y limpio. En caso de que se considere oportuno también puede realizarse el trabajo con materiales metálicos como aluminio o acero.

Dado que en el taller no se dispone de fresadoras de CNC para todos los alumnos estos podrán emplear las fresadoras convencionales para realizar tareas como planeados, escuadrados etc. Una vez tienen el material bruto preparado tendrán que realizar el proceso completo de preparación y ejecución del mecanizado de sus respectivas piezas.

Como en el taller solo hay disponibles 3 fresadoras CNC en esta sesión serán 3 parejas de alumnos las que trabajen sus piezas en estas máquinas. Al estar el aula informática contigua al taller esto permite que los alumnos que no pueden trabajar en las máquinas CNC puedan estar en el aula trabajando en los programas de mecanizado o incluso en la preparación de la memoria que deben entregar en este proyecto.

Sesión 10	Duración	Lugar	Materiales	Software
	3 horas	Taller Aula informática	Ordenadores Fresadora CNC	Inventor Hypermill

#### Desarrollo

En la décima sesión seguirán trabajando en el taller en el mecanizado de las piezas en este caso otras 3 parejas de alumnos, los alumnos que hayan finalizado su trabajo en la sesión anterior podrán observar/ayudar a sus compañeros en la preparación y ejecución de las operaciones de mecanizado o bien podrán dedicar el tiempo de la sesión a preparar los entregables requeridos al final del proyecto.

Sesión 11	Duración	Lugar	Materiales	Software
	3 horas	Taller Aula informática	Ordenadores Fresadora CNC	Inventor Hypermill

### Desarrollo

La undécima y última sesión se dedicará a terminar el trabajo de taller por las últimas tres parejas de alumnos.

En función del trabajo realizado y del aprovechamiento de las sesiones el profesor indicará la fecha de entrega del proyecto completo con la memoria y el resto de entregables. En principio esta fecha podría considerarse una semana después de la última sesión ya que durante las sesiones los alumnos han podido trabajar la memoria y el resto de entregables del proyecto.

Si fuera posible, sería muy interesante que los alumnos realizaran una breve exposición del trabajo realizado al resto del aula. Esto será función del tiempo disponible y de que todas las parejas hayan terminado el proyecto.

## 5.7 Evaluación

### 5.7.1 Criterios de evaluación

Toda la parte del proyecto relacionada con CAD/CAM tiene sus criterios evaluación contemplados en el **Decreto Foral 48/2009 del 4 de mayo**. Estos criterios de evaluación son perfectamente aplicables en este proyecto pero es necesario ampliarlos ya que se introducen nuevas materias que no están directamente contempladas en el currículo.

Los criterios de evaluación mencionados pueden encontrarse en el apartado **3.1 Resultados de aprendizaje y criterios de evaluación** de este documento. Se comentan a continuación los que este proyecto añade a los ya establecidos.

Resultados de aprendizaje	Criterios de evaluación
<b>5. Realiza correctamente el escaneado del objeto teniendo en cuenta los parámetros fundamentales y trabaja de forma adecuada las imágenes obtenidas.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Se ha calibrado el escáner 3D antes de realizar la operación de escaneado</li> <li>b) Se definen correctamente los parámetros del escáner y se realiza el número de capturas acorde al tipo de elemento a escanear.</li> <li>c) Se utiliza la mesa giratoria de forma adecuada.</li> <li>d) Se alinean correctamente las capturas obtenidas se y se pre procesan de forma satisfactoria eliminando agujeros y corrigiendo errores.</li> <li>e) Se guarda el archivo en un formato adecuado para ser trabajado más adelante con el software correspondiente.</li> </ul>
<b>6. Genera el archivo Gcode necesario para realizar el prototipado rápido mediante impresora 3D.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Se Importa adecuadamente el archivo trabajado anteriormente en el software para elaborar el archivo Gcode.</li> <li>b) Se definen los parámetros fundamentales para realizar la impresión 3D.</li> <li>c) Se prepara la máquina 3D y se carga el archivo adecuadamente.</li> </ul>

### 5.7.2 Instrumentos de evaluación

El principal instrumento de evaluación consistirá en el resultado obtenido en el propio proyecto.

Cada pareja deberá entregar como tarde al final del proyecto los siguientes elementos/documentos:

1. Memoria del proyecto. Esta memoria debe contener como mínimo:
  - a. Justificación del elemento escogido
  - b. Descripción del trabajo realizado
  - c. Imágenes del proceso completo
2. Prototipo 3D fabricado mediante impresión FFF.
3. Archivo en formato universal STP (después del tratamiento de imágenes).
4. Programas CNC para fabricación del elemento.
5. Pieza fabricada mediante mecanizado por arranque de viruta (en material PVC, aluminio o acero a determinar en función de las características de la pieza).

Estos elementos se podrán ir completando y entregando al profesor según se vayan terminando para evitar que todo el trabajo se acumule al final de la evaluación. De esta manera el profesor podrá hacer un seguimiento más al día del trabajo de los alumnos, y en caso necesario, aportarles sus comentarios para modificar o mejorar alguno de estos entregables.

En el **Anexo I** se puede observar un ejemplo de proyecto completo consistente en un ratón de ordenador.

Se analizará el contenido del proyecto, su presentación, su originalidad y su grado de cumplimiento con lo exigido.

Además se tendrán en cuenta aspectos como el trabajo en equipo (en parejas) y la colaboración con el resto de compañeros.

Para ayudar al profesor en la tarea de evaluar los proyectos se seguirá la rúbrica mostrada en el **Anexo II**.

### 5.7.3 Criterios de calificación

La ejecución del proyecto tendrá la mayor carga con un 90% del peso total de la nota. El 10% corresponderá a la capacidad de trabajo en equipo y comportamiento en el aula y taller.

### 5.7.4 Recuperación

En caso de que algún alumno no cumpla los requisitos mínimos para aprobar la evaluación se ampliará el plazo para entregar el proyecto completo o en su defecto se realizará un examen equivalente que demuestre que se han adquirido los conocimientos y habilidades mínimas marcadas en el currículo. Este examen constará de una parte escrita, una parte de ordenador y una tercera parte práctica en el taller.



### 5.8 Valoración final

En la valoración final del proyecto se hará especial hincapié en obtener la opinión de los alumnos sobre la experiencia realizada y en buscar puntos de mejora para futuros proyectos.

Esta valoración final se puede realizar a los alumnos mediante un cuestionario convencional o bien aprovechando que el módulo se desarrolla en un aula informática realizar el cuestionario empleando una aplicación de respuesta rápida tipo Socrative. Se incluye un ejemplo de esto último en el **Anexo II**.

Los puntos de mejora se extraerán de esta valoración final de la actividad y de las observaciones realizadas por el profesor a lo largo de la evaluación.

### 5.9 Posibles vías de trabajo futuro

Un proyecto de este tipo deja abiertas muchas vías de trabajo futuro ya que se trata de un proyecto que engloba muchos aspectos. Algunas de las ideas para proyectos futuros serían:

- Realizar un proyecto más específico centrado en alguno de los aspectos técnicos tratados en este trabajo profundizando más en ese campo. Aspectos en los que se podría centrar el proyecto:
  - Escaneado 3D
  - Impresión 3D
  - Empleo de CAD/CAM
  - Tratamiento de imágenes obtenidas a partir del escaneo
  - Fabricación con fresadora CNC
- Realizar un proyecto interdisciplinar que englobe otros módulos del Ciclo Formativo.
- Realizar un proyecto en un grupo formado por todos los alumnos del aula. Se podría escoger un conjunto mecánico y que cada alumno realizar una de las piezas del mismo.
- Englobar el trabajo dentro de un proyecto etwinning de colaboración con otros centros de formación profesional europeos.

## 6. Atención a la diversidad

Dentro de un grupo de alumnos podemos encontrarnos con gran diversidad en cuanto a capacidad, interés, motivación, conocimientos previos, situación familiar y personal, etc.

Al tratar con alumnos de formación profesional esto puede verse amplificado ya que los grupos son más heterogéneos en lo que se refiere a factores como edad, capacidades o intereses. Por ejemplo se da la circunstancia de que en los últimos años y debido a la situación económica y laboral, no es extraño encontrarse con alumnos adultos que ante la falta de trabajo han decidido volver a las aulas.

Otro punto tener muy en cuenta es que al tratarse de un Grado Superior podemos encontrarnos con alumnos con perfiles formativos muy distintos, unos habrán cursado Grado Medio, otros Bachillerato, algunos tendrán experiencia laboral, otros no... Este factor aporta una diversidad muy marcada.

Al no tratarse de una formación obligatoria y ser eminentemente práctica la atención a la diversidad deberá enfocarse más hacia la adaptación de acceso al currículo y no tanto hacia la adaptación curricular ya que en este tipo de estudios todos los alumnos deben ser capaces de demostrar que han alcanzado el mismo nivel de conocimientos.



*Imagen 14. Todos somos diversos*

Vamos a partir de la premisa de que:

**No existen personas discapacitadas sino entornos incapacitantes**

A continuación analizaremos que indica la normativa al respecto.

Según el *Artículo 7 Adecuación de la evaluación* de la Orden Foral 52/2009, de 8 de abril por la que se regula la evaluación, titulación y acreditación académica del alumnado de formación profesional en el sistema educativo de la Comunidad Foral de Navarra:

“Los procesos de evaluación se adecuarán a las necesidades metodológicas que presente el alumnado con discapacidad, garantizando su accesibilidad a las pruebas de evaluación.”

Además si acudimos a la normativa nacional, el Real Decreto 1147/2011, de 29 de julio, por el que se establece la ordenación general de la formación profesional del sistema educativo establece lo siguiente:

Artículo 8. El currículo.

“4. Los centros de formación profesional **aplicarán los currículos** establecidos por la Administración educativa correspondiente, de acuerdo con las características y expectativas del alumnado, con **especial atención** a las necesidades de aquellas personas que presenten una **discapacidad**. Asimismo, se tendrán en cuenta las posibilidades formativas del entorno, especialmente en el módulo profesional de formación en centros de trabajo.”

Artículo 51. Evaluación de las enseñanzas de formación profesional.

“1. La evaluación del aprendizaje del alumnado de las enseñanzas de formación profesional se realizará por módulos profesionales. Los **procesos de evaluación se adecuarán** a las adaptaciones metodológicas de las que haya podido ser objeto el alumnado con **discapacidad** y se **garantizará su accesibilidad a las pruebas de evaluación**.”

Por lo tanto podemos comprobar que tanto la normativa autonómica como nacional comparten la misma idea, los alumnos con necesidades especiales deben tener garantizado el acceso al currículo y a las pruebas de evaluación.

En el proyecto que se plantea en este documento se tendrán en cuenta los siguientes aspectos en cuanto a atención a la diversidad:

- A la hora de formar las parejas se buscará un equilibrio en aquellos casos en que alguno de los alumnos del grupo presente alguna necesidad especial o discapacidad. Se buscará emparejar a estos alumnos con aquellos que presenten una mejor actitud y nivel de madurez.
- Tanto en el aula como en el taller se dispondrá de aquellas ayudas que sean necesarias debidas a problemas de movilidad, de visión, de escucha o similares.
- A la hora de trabajar el proyecto se prestará especial atención a aquellos alumnos que presenten trastornos por déficit de atención e hiperactividad (TDAH). Se tiene constancia de que cada vez es más habitual encontrarse con alumnos que sufren este tipo de trastorno.
- En principio no se realizará examen en esta parte del módulo salvo aquellos alumnos que no entreguen los trabajos exigidos, que tendrán derecho a un examen escrito teórico-práctico y otro de taller. En estos casos se adaptarán los medios necesarios para que todos los alumnos puedan realizar las pruebas en las mejores condiciones. Estas adaptaciones incluyen: mayor tiempo de realización de la prueba, mayor claridad en las cuestiones planteadas en el examen, etc.

En definitiva el profesor velará por que todos los alumnos tengan las mismas oportunidades de aprovechamiento de las sesiones y que los métodos de evaluación se adapten a todos ellos sin discriminación alguna.

## 7. Bibliografía

- Modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de competencias. De Miguel, Mario 2006
- Control numérico. Fresadora. Fagor 8010-T, Fagor 8025/30, TG, TS. Manual del profesor. Fernández Malo, Ángel 2002
- Escaneado, prototipado y mecanizado de un objeto. Trabajo fin de grado. Universidad de León. Huarte Rodríguez, Daniel 2015

### Páginas web:

- Ingeniería inversa. (2016, 7 de junio). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ingenier%C3%ADa\\_inversa&oldid=91541314](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ingenier%C3%ADa_inversa&oldid=91541314).
- Escáner 3D. (2016, 4 de abril). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Esc%C3%A1ner\\_3D&oldid=90242369](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Esc%C3%A1ner_3D&oldid=90242369).

### Manuales:

- **Repetier host:** Recuperado de: <https://www.repetier.com/tutorials/>
- **Impresora 3D:** RepRapBCN Fundació CIM-UPC. (2014). Manual de usuario BCN3D+ v1.0.pdf
- **Geomagic:** 3D Systems, Inc. Geomagic Solutions. (2014). Geomagic DesignX 2014 User Guide.pdf
- **Autodesk Inventor:** Autodesk, Inc. (2016). Autodesk Inventor Professional 2016.pdf
- **Escáner 3D Minolta VI-910:** Konica Minolta Sensing, Inc. (2006). vivid-910 vi-910 instruction eng.pdf
- **Polygon Editing Tool:** Konica Minolta Sensing, Inc. (2010). Polygon editing tool 240 instruction eng.pdf
- **Haas TM-1:** Haas Automation, Inc. (2008). Mill\_operator\_manual\_TM1.pdf

### Normativa:

- Decreto Foral 48/2009 del 4 de mayo por el que se establecen la estructura y el currículo del título de Técnico Superior en Programación de la Producción en Fabricación Mecánica en el ámbito de la Comunidad Foral de Navarra
- Real Decreto 1687/2007, de 14 de diciembre por el que se establece el título de Técnico Superior en Programación de la Producción en Fabricación Mecánica y se fijan sus enseñanzas mínimas

- Real Decreto 1538/2006, de 5 de diciembre por el que se establece la ordenación general de la formación profesional del sistema educativo
- Ley Orgánica 13/1982, de 10 de agosto, de Reintegración y Amejoramiento del Régimen Foral de Navarra
- Decreto Foral 54/2008, de 26 de mayo por el que se regula la ordenación y el desarrollo de la formación profesional en el sistema educativo de la comunidad foral de navarra
- Orden Foral 52/2009, de 8 de abril por la que se regula la evaluación, titulación y acreditación académica del alumnado de formación profesional
- Real Decreto 1147/2011, de 29 de julio, por el que se establece la ordenación general de la formación profesional del sistema educativo
- Orden Foral 93/2008, de 13 de junio, del Consejero de Educación por la que se regula la atención a la diversidad en los centros educativos de Educación Infantil y Primaria y Educación Secundaria de la Comunidad Foral de Navarra

## 8. Agradecimientos

- Al cuerpo docente del CIP Virgen del Camino y CIP Tafalla por su colaboración y por facilitarme el material y las instalaciones necesarias para llevar a cabo este trabajo.
- A Dani Huarte profesor del módulo *Fabricación Asistida por Ordenador* en el CIP Virgen del Camino por todo su tiempo dedicado y por su ayuda en la parte técnica del proyecto.
- A Javier Muñoz, mi tutor en el desarrollo de este trabajo por sus buenos consejos.

## 9. Anexos

### Anexo I. Ejemplo de proyecto completo: Ratón ordenador

Este anexo pretende servir de ejemplo de proyecto similar al que los alumnos tendrán que entregar al finalizar la unidad didáctica. Como se ha explicado anteriormente cada pareja de alumnos tendrá que entregar los siguientes documentos y objetos:

1. Memoria del proyecto.
2. Prototipo 3D fabricado mediante impresión FFF.
3. Archivo en formato universal STP (después del tratamiento de imágenes).
4. Programas CNC para fabricación del elemento.
5. Pieza fabricada mediante mecanizado por arranque de viruta.

## Proyecto de Ingeniería Inversa: Ratón de ordenador

Módulo: Fabricación asistida por ordenador

Curso: 2015/16

Alumnos:

### Memoria

En este trabajo del módulo Fabricación Asistida por Ordenador vamos a realizar un proyecto de ingeniería inversa de un ratón de ordenador. Dedicamos toda la segunda evaluación a realizar este proyecto por parejas. En esta memoria explicamos paso a paso todo el trabajo realizado.

### Justificación del elemento escogido

Hemos decidido escoger un ratón de ordenador por los siguientes motivos:

- Es un elemento conocido por todos y fácil de obtener
- Es relativamente sencillo de fabricar
- Está formado por unas superficies lo suficientemente complejas para que el empleo de un escáner 3D quede justificado.

Como se ha dicho, las superficies que forman el ratón son curvas complejas que no pueden medirse fácilmente empleando elementos de medida convencionales por lo tanto si se quiere conseguir una buena reproducción de este elemento es necesario utilizar técnicas avanzadas que incluyan un escáner 3D.



Imagen 15. Ratón de ordenador



## Descripción del trabajo realizado

### Elección del elemento

Este es el ratón que hemos decidido reproducir. Es un ratón óptico con dos botones y rueda central. Es un ratón que no funciona al que se le ha cortado el cable.

### Escaneado 3D y primer tratamiento de la imagen

El escáner utilizado en este proyecto es un escáner Minolta VI-910 con mesa giratoria sincronizada con el escáner. El software que utilizamos es el Polygon Editing Tool (PET).



Imagen 16. Escáner 3D Minolta

En primer lugar, antes de empezar con el escaneo se debe calibrar el escáner. Para ello utilizamos la carta de calibración propia del escáner.

Antes de hacer el escaneo pulsamos AF para determinar la distancia focal y la intensidad del láser necesarias para una buena triangulación.

Antes de hacer el escaneo pulsamos AF para determinar la distancia focal y la intensidad del láser necesarias para una buena triangulación.

Antes de escáner calibramos el aparato utilizando la función que tiene el propio software PET del escáner.

En la imagen de la izquierda se puede ver la mesa giratoria del escáner con la carta de calibración encima.



Imagen 17. Calibración del escáner

Una vez que se ha calibrado el escáner debemos colocar el objeto a escáner sobre la mesa y seleccionar el número de imágenes que deseamos capturar.

En este proyecto como no se trata de un objeto muy complejo hemos decidido realizar 4 imágenes. Por lo tanto la mesa giratoria tendrá que girar 90° entre una captura y la siguiente.

Cuando ya tenemos los parámetros seleccionados ponemos el ratón en la mesa y empezamos con el escaneo.



Imagen 18. Proceso de escaneo

En las imágenes se puede ver que se han colocado unas cartulinas negras en el fondo de la zona de escaneo. Con esto conseguimos que no se produzcan brillos ni reflejos que

puedan empeorar la calidad del proceso de escaneo. Además la iluminación de la sala tiene que ser moderada por el mismo motivo.

El láser del escáner realiza barridos que capturan la geometría del ratón. Obtenemos 4 imágenes ya que es lo que hemos predefinido. Vamos guardando cada imagen con la tecla *Store* del programa.

Cada una de las imágenes es en realidad una nube de puntos que tendremos que trabajar más adelante. Dos imágenes consecutivas deben tener parte de geometría en común para luego poder hacer el alineado de las imágenes.

Cuando ya tenemos las 4 imágenes las alineamos con la opción automática que nos ofrece el programa PET (*Build – Registration – Initial – Automatic*).

El programa realiza el alineado de las imágenes montando los puntos que coinciden entre imágenes consecutivas y obtenemos una única imagen final con la que trabajaremos más adelante.

Es frecuente que aparezcan agujeros en las superficies ya que en el proceso de escaneo el escáner confunde la pieza con el fondo o por zonas oscuras, etc. Para solucionar estos errores si son pequeños podemos utilizar la opción automática de tapado de agujeros que tiene el programa (*Build – Fill Holes – Auto*). Si los agujeros son muy grandes o de aspecto muy irregular es mejor repetir el escaneado ya que el programa no interpretará bien como taparlos.

En nuestro caso la mayor parte de los agujeros se cierran automáticamente menos uno en la parte superior del ratón que tenemos que cerrar de forma manual.

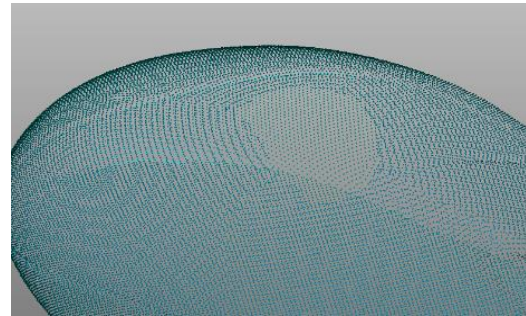


Imagen 19. Agujero den la nube de puntos

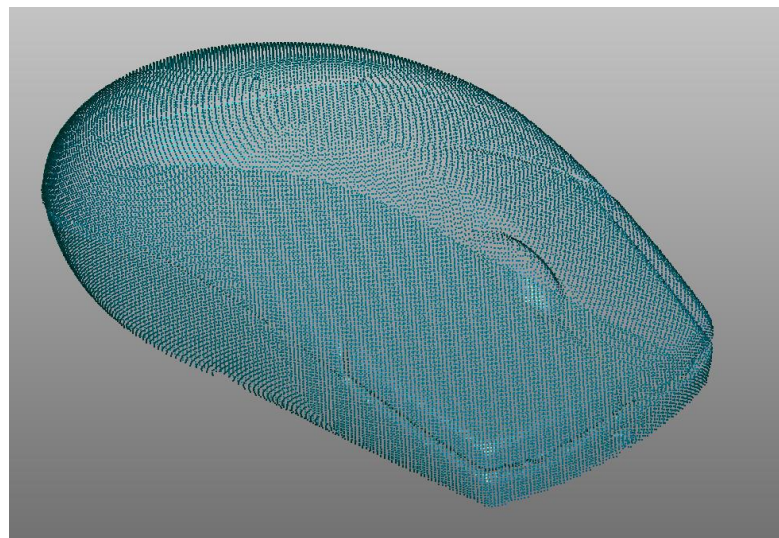


Imagen 20. Nube de puntos final

Como ya tenemos la imagen alineada y los agujeros tapados podemos realizar el cosido con la orden Build – Merge.

Ya tenemos la el archivo final, tan solo falta guardarlo en formato STL para poder seguir trabajando en el proyecto.

En la imagen inferior se puede ver la geometría obtenida. En la parte inferior se pueden detectar zonas irregulares que serán reparadas más adelante. En la parte superior también se ve como el tapado del agujero no se ha ejecutado correctamente.

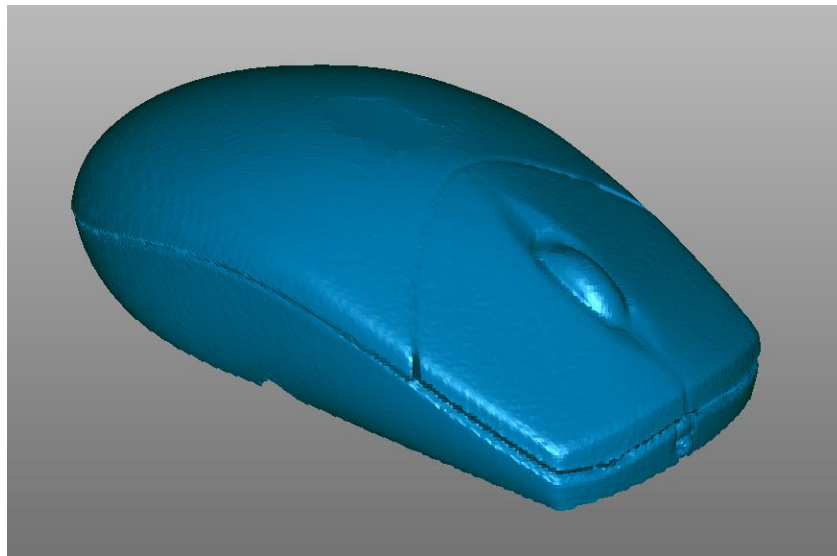


Imagen 21. Solido STL obtenido

### Postprocesado de la imagen

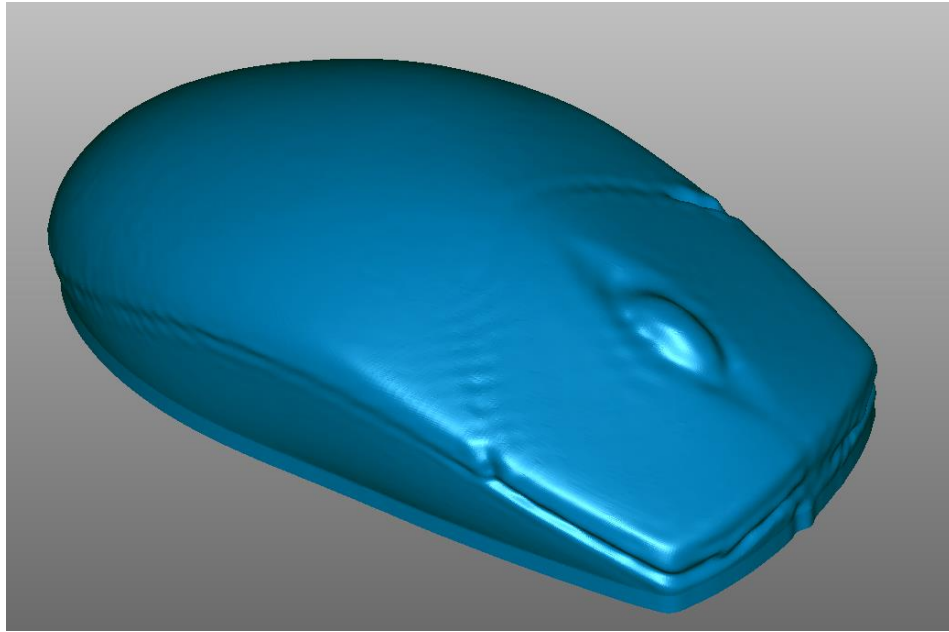
Tenemos la geometría del ratón en formato STL. Esta geometría como hemos visto anteriormente tiene algún defecto que debemos reparar. Para ello empleamos el software Geomagic Wrap. Este es un software muy potente del cual solo emplearemos algunas opciones.

Se trata de reparar la zona inferior del ratón y de mejorar el aspecto de la zona superior.

Utilizamos además la función *Mesh Doctor* para reparar los posibles defectos y ruidos de la malla que hemos obtenido en el proceso de escaneo.

En nuestro caso ha sido necesario además retocar la parte inferior del ratón mediante el software Autodesk Inventor, esto es posible gracias a los formatos de intercambio universales como son STL y STEP.

El resultado final se puede ver en la imagen inferior:



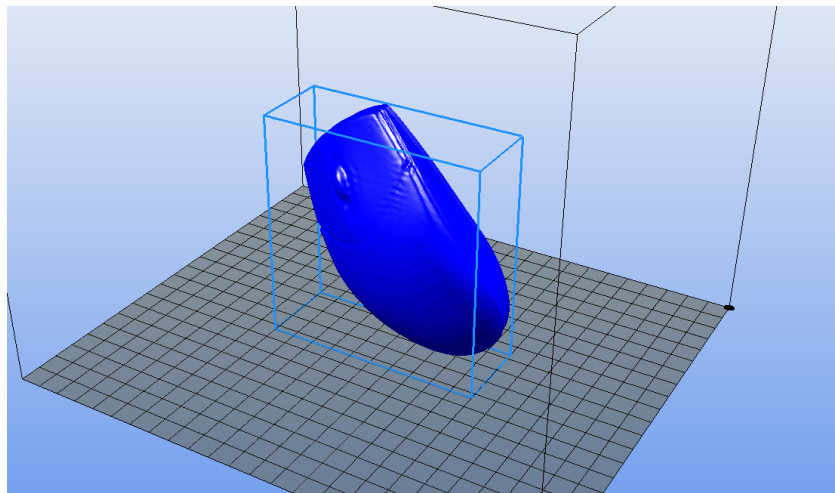
*Imagen 22. Solido final después de postprocesado*

Este archivo lo exportamos de nuevo con formato STL para poder realizar el prototipado rápido mediante la impresora 3D.

### **Prototipado con la impresora 3D**

Partiendo del archivo que hemos obtenido en la fase anterior, mediante el software Repetier-Host vamos a generar el archivo Gcode que ejecutaremos en la impresora 3D.

Al abrir el archivo en Repetier-Host este nos aparece totalmente desubicado en el espacio. Esto se debe a que en el proceso de escaneo y posterior tratamiento de la imagen no hemos definido unos planos cartesianos apropiados y estos se han creado de forma no controlada.



*Imagen 23. Ratón mal posicionado*

Por lo tanto tenemos que posicionar el ratón sobre la superficie de impresión virtual del programa.

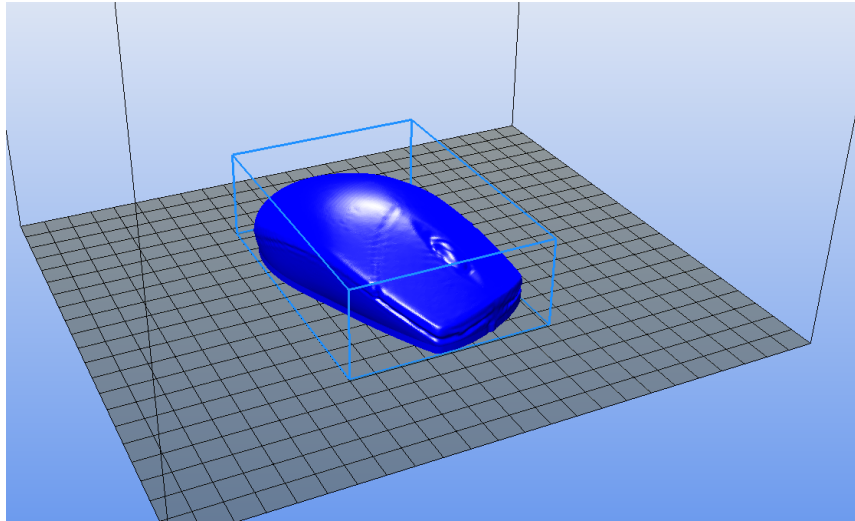
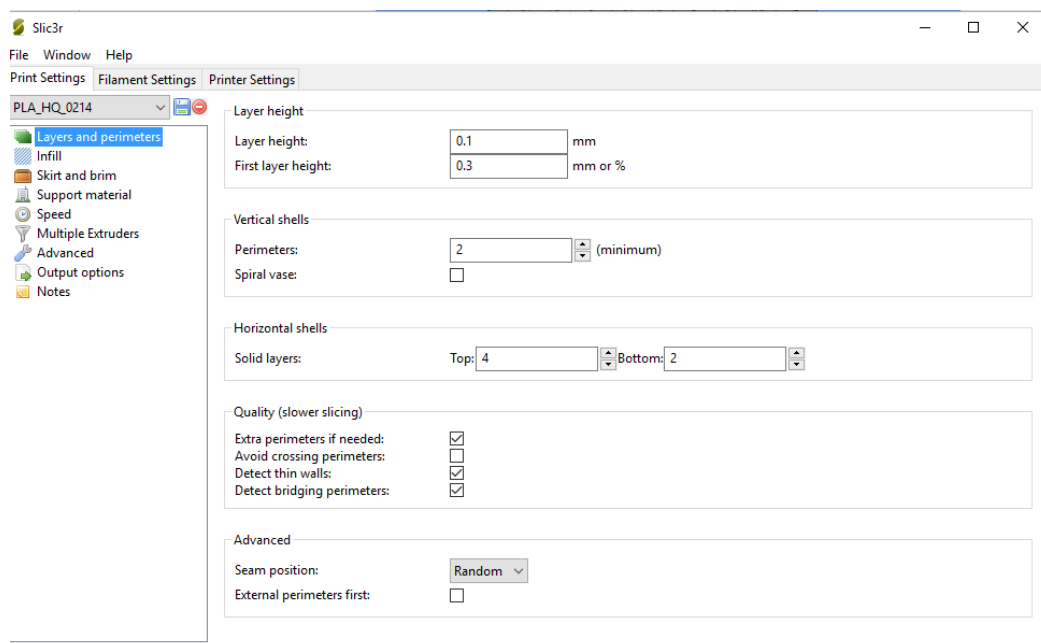
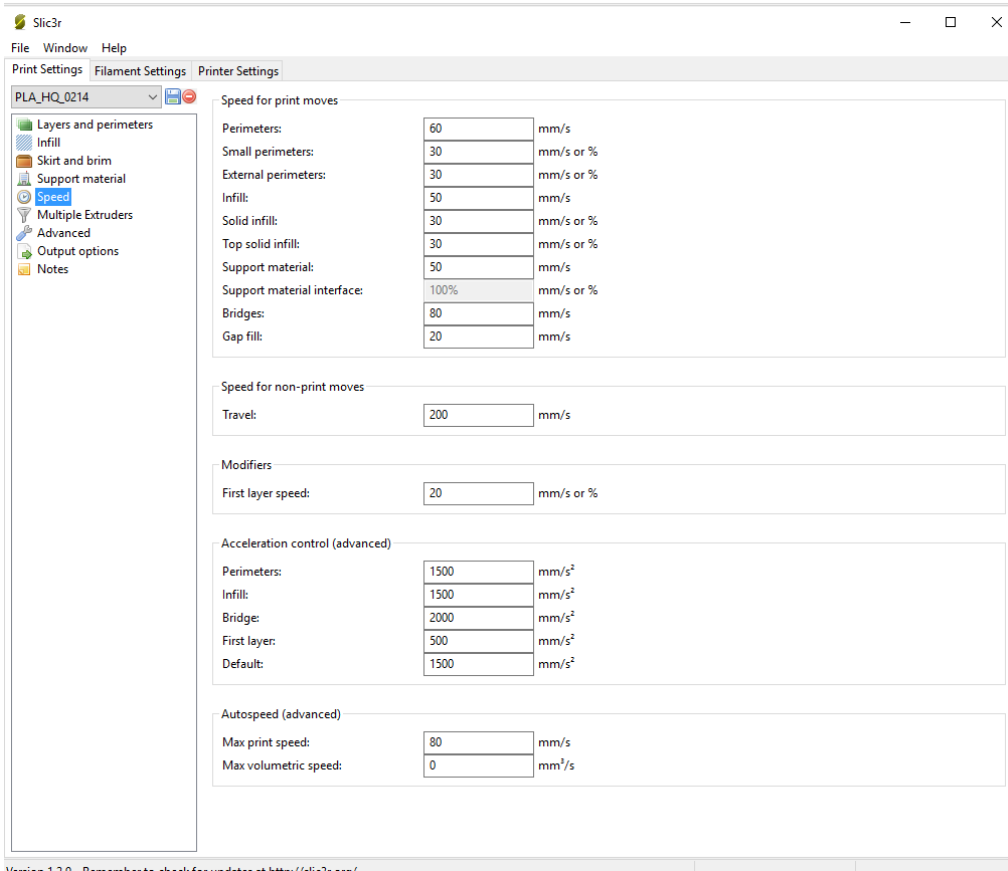
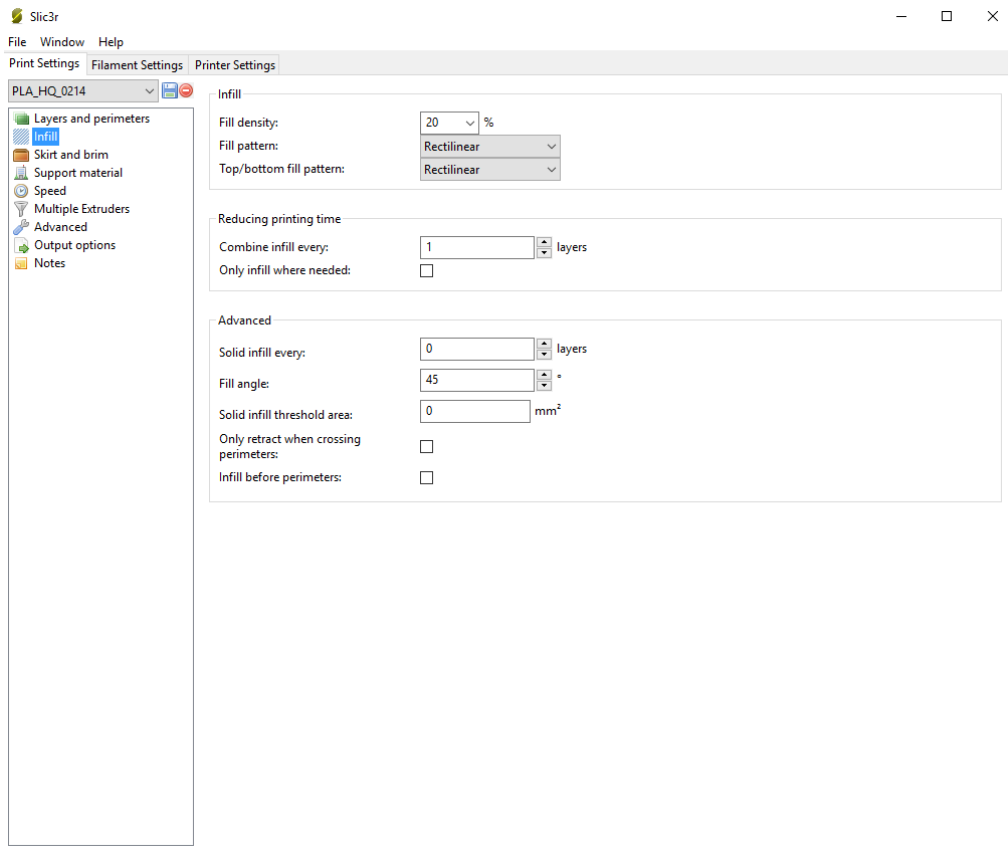


Imagen 24. Ratón posicionado correctamente

Hecho esto podemos definir los parámetros fundamentales de impresión de acuerdo a nuestra impresora 3D. Se muestran algunos de los más importantes:







Version 1.2.9 - Remember to check for updates at <http://slic3r.org/>

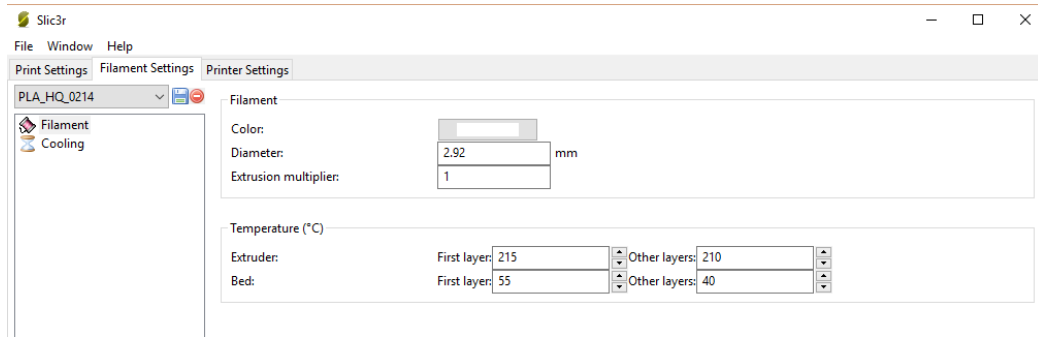


Imagen 25. Capturas pantalla parámetros Slic3r

Procedemos al fileteado del archivo y obtenemos la siguiente previsualización:

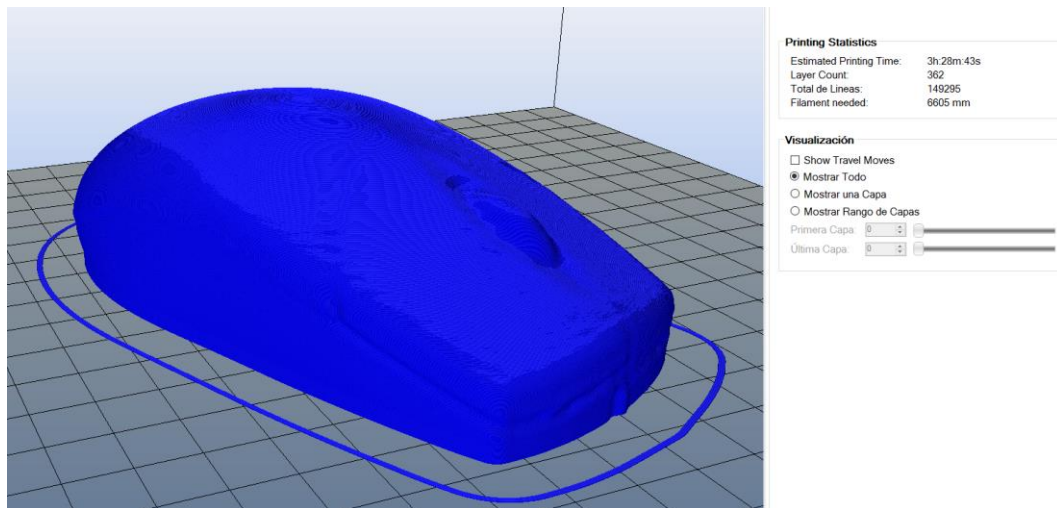


Imagen 26. Previsualización de impresión 3D

Guardamos el archivo en formato Gcode y ya lo tenemos listo para enviar a la impresora 3D. En la imagen inferior se puede ver un extracto del archivo Gcode generado.



```
; external perimeters extrusion width = 0.40mm
; perimeters extrusion width = 0.68mm
; infill extrusion width = 1.28mm
; solid infill extrusion width = 0.50mm
; top infill extrusion width = 0.30mm

M107
M190 S55 ; set bed temperature
M104 S215 ; set temperature
G28 ; home all axes
M109 S215 ; wait for temperature to be reached
G21 ; set units to millimeters
G90 ; use absolute coordinates
M82 ; use absolute distances for extrusion
G92 E0
G1 E-2.00000 F2100.00000
G92 E0
G1 Z0.050 F12000.000
G1 Z0.300 F12000.000
G1 Z0.350 F12000.000
G1 X102.391 Y55.057 F12000.000
G1 Z0.300 F12000.000
G1 E2.00000 F2100.00000
M204 S500
G1 X103.537 Y52.933 E2.03520 F1200.000
G1 X104.510 Y51.232 E2.06378
G1 X105.051 Y50.330 E2.07913
G1 X106.661 Y47.773 E2.12321
G1 X107.233 Y46.982 E2.13746
G1 X107.769 Y46.337 E2.14968
G1 X108.391 Y45.686 E2.16282
G1 X109.054 Y45.085 E2.17588
G1 X109.509 Y44.721 E2.18436
G1 X109.981 Y44.379 E2.19288
G1 X110.477 Y44.055 E2.20151
```

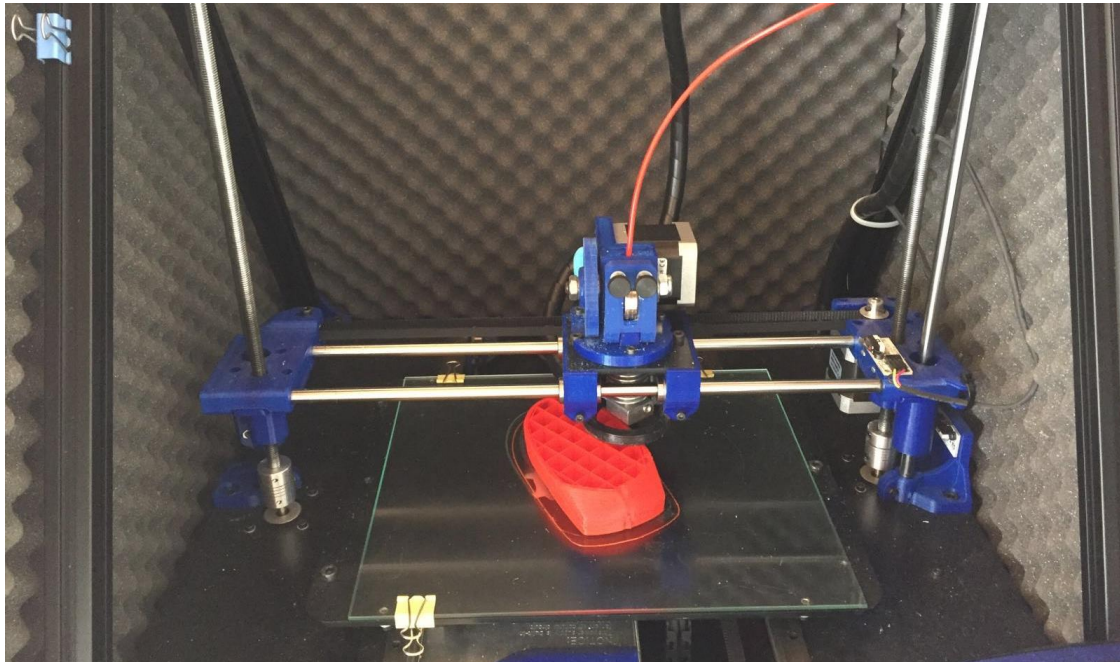


Imagen 27. Proceso de prototipado rápido

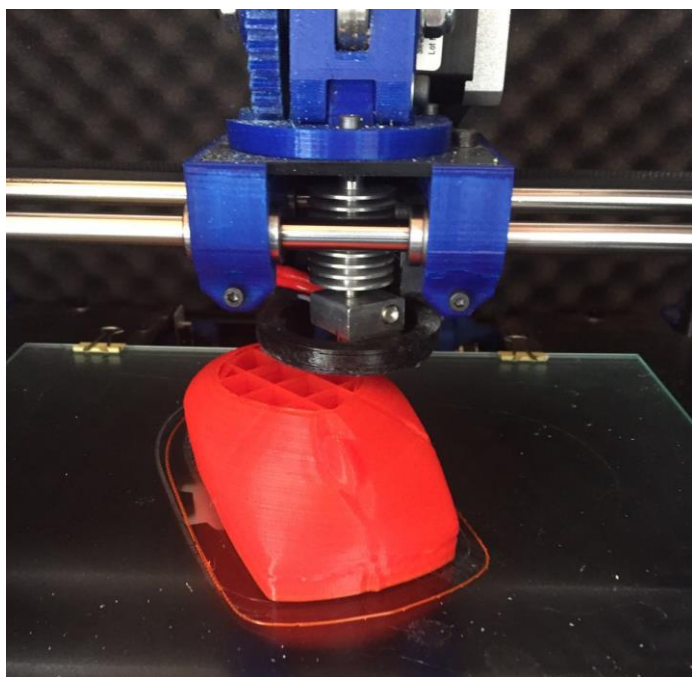


Imagen 29. Detalle prototipado rápido

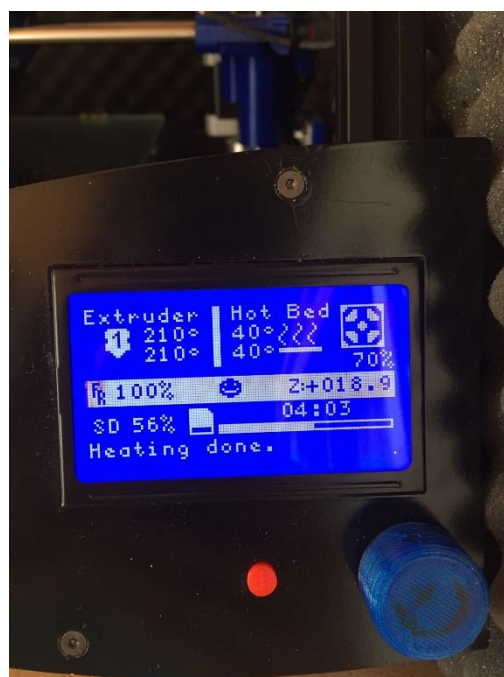


Imagen 28. Detalle display impresora 3D

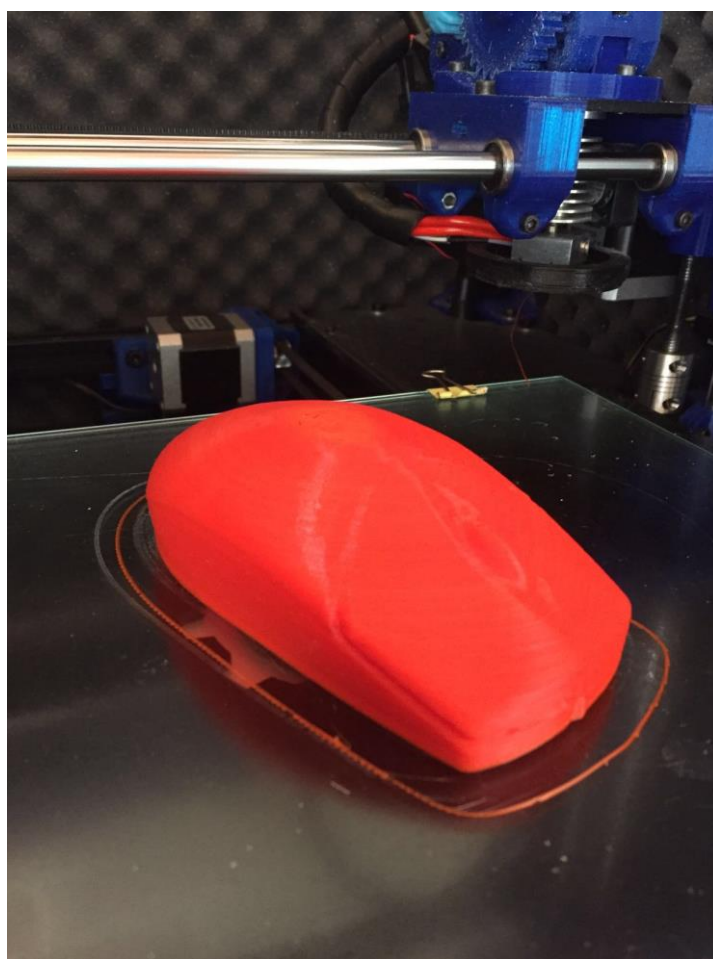


Imagen 30. Resultado final

## Programación asistida por ordenador (CAD/CAM)

Importamos el archivo STL que hemos generado anteriormente en el software Autodesk Inventor (CAD) en el cual tenemos integrado el software Hypermill (CAM).

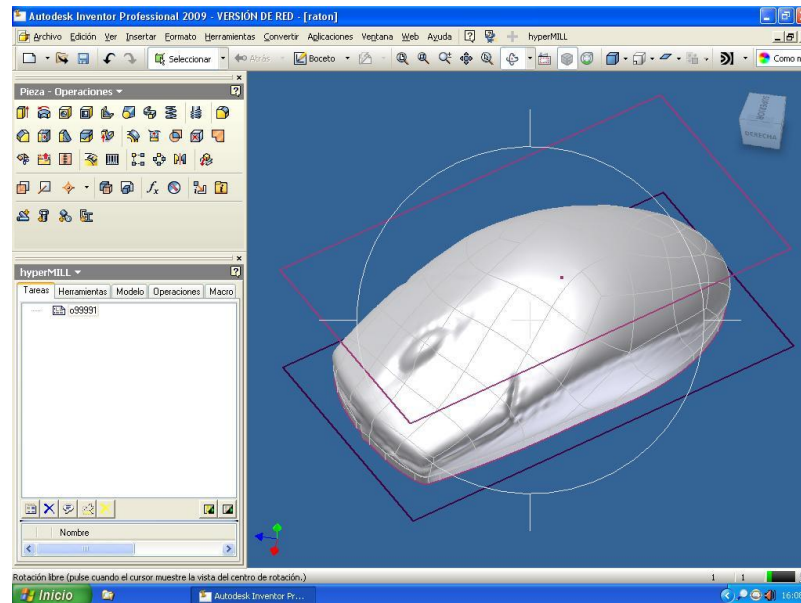


Imagen 31. Captura pantalla Autodesk Inventor

Lo primero que hacemos es ubicar el elemento dentro de un paralelepípedo para más adelante poder definir las medidas del bruto a partir del cual fabricaremos la pieza.

Mediante el comando 3DF convertidor reconocemos las superficies 3D.

Después tenemos que definir los ejes principales sobre el cubo y definir el cero pieza para que el programa interprete donde se sitúa este en el posterior mecanizado en máquina.

Definimos las herramientas que utilizaremos e indicamos sus parámetros más importantes. En este caso trabajaremos con dos herramientas diferentes una fresa tórica de  $\varnothing 6$  mm para la operación de desbaste y otra esférica  $\varnothing 6$  mm para la operación de acabado.

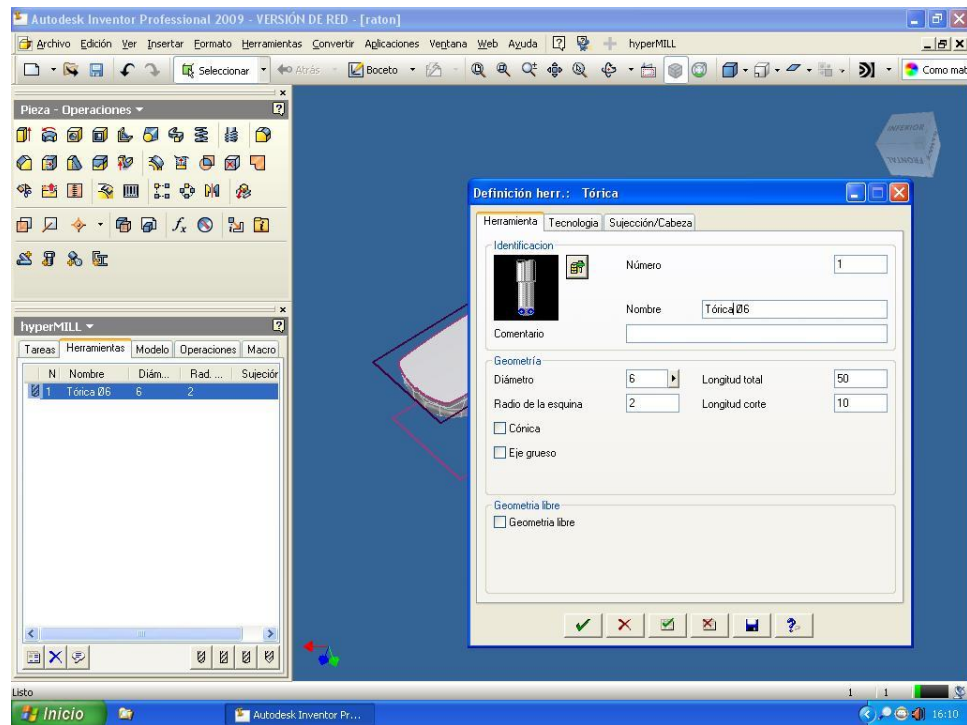


Imagen 32. Definición de herramientas

A continuación debemos definir las operaciones de mecanizado que vamos a realizar. Como se ha comentado antes haremos dos operaciones, una de desbaste y otra de acabado.

A la hora de definir los parámetros como velocidades, avances, penetración, etc., debemos tener en cuenta el tipo de material a mecanizar. En nuestro caso vamos a trabajar con PVC por mayor limpieza y velocidad.

Debemos definir correctamente todos los parámetros para obtener un resultado adecuado, antes de proceder con el mecanizado, simularemos las operaciones en el propio software Hypermill para detectar posibles errores.



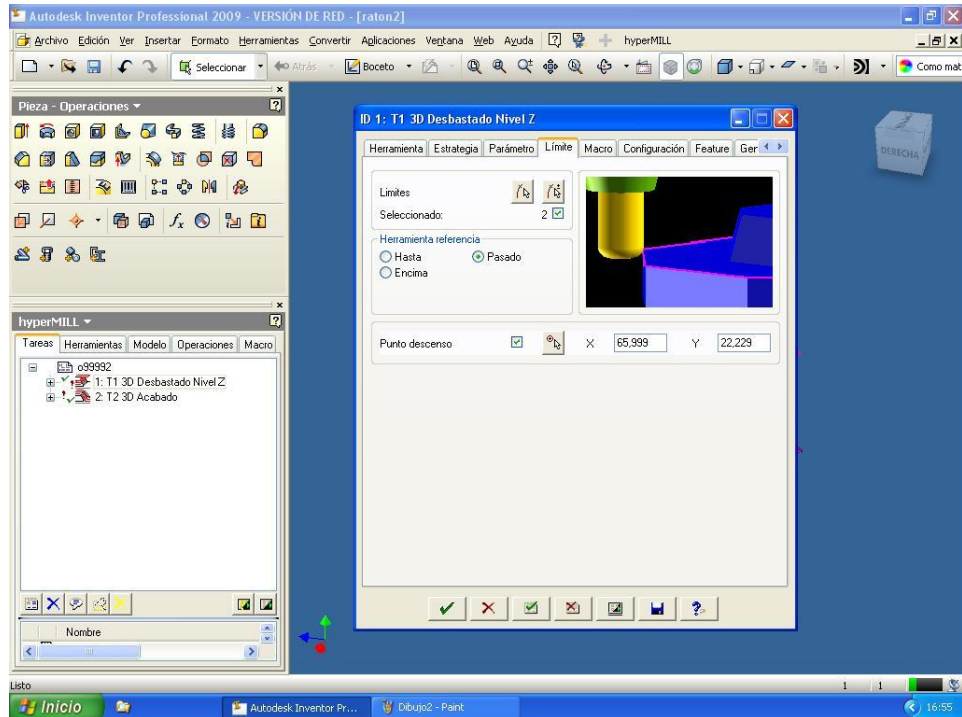


Imagen 33. Definición del proceso de desbastado

Con toda la información introducida se calculan los mecanizados para comprobar que el programa no detecta errores.

Después se define el material en bruto y mediante Hypermill – Hyperview se simulan los mecanizados.

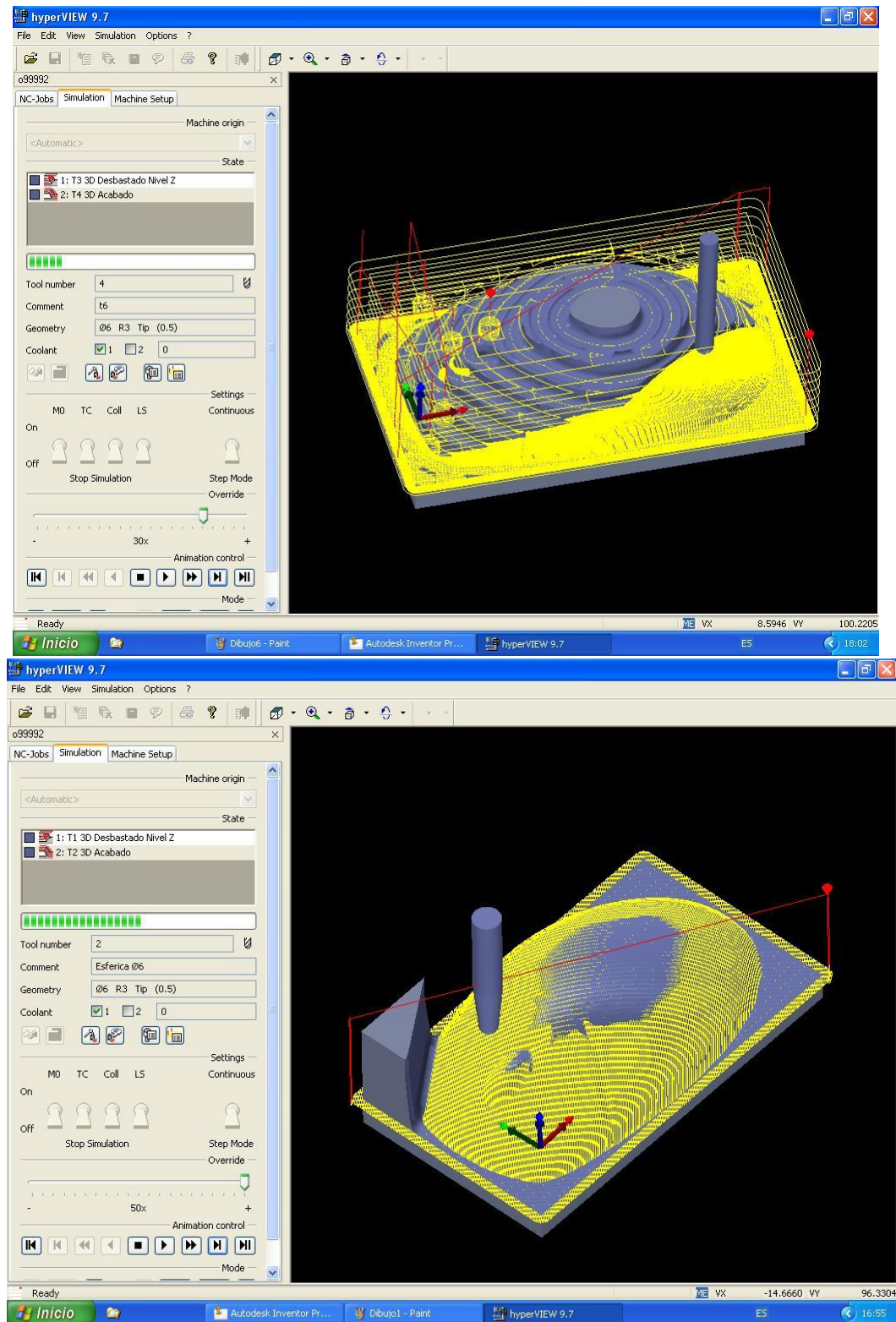


Imagen 34. Simulaciones del proceso de mecanizado

Con los mecanizados simulados seleccionamos la máquina que vamos a utilizar y el postprocesador.

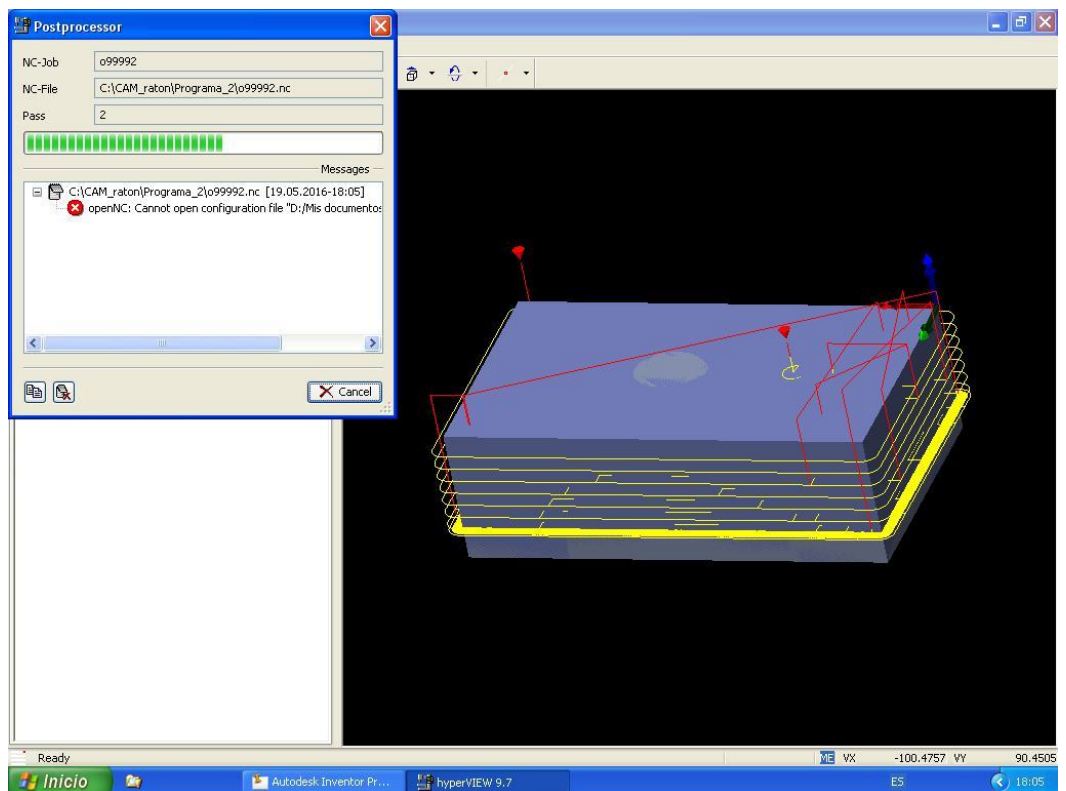
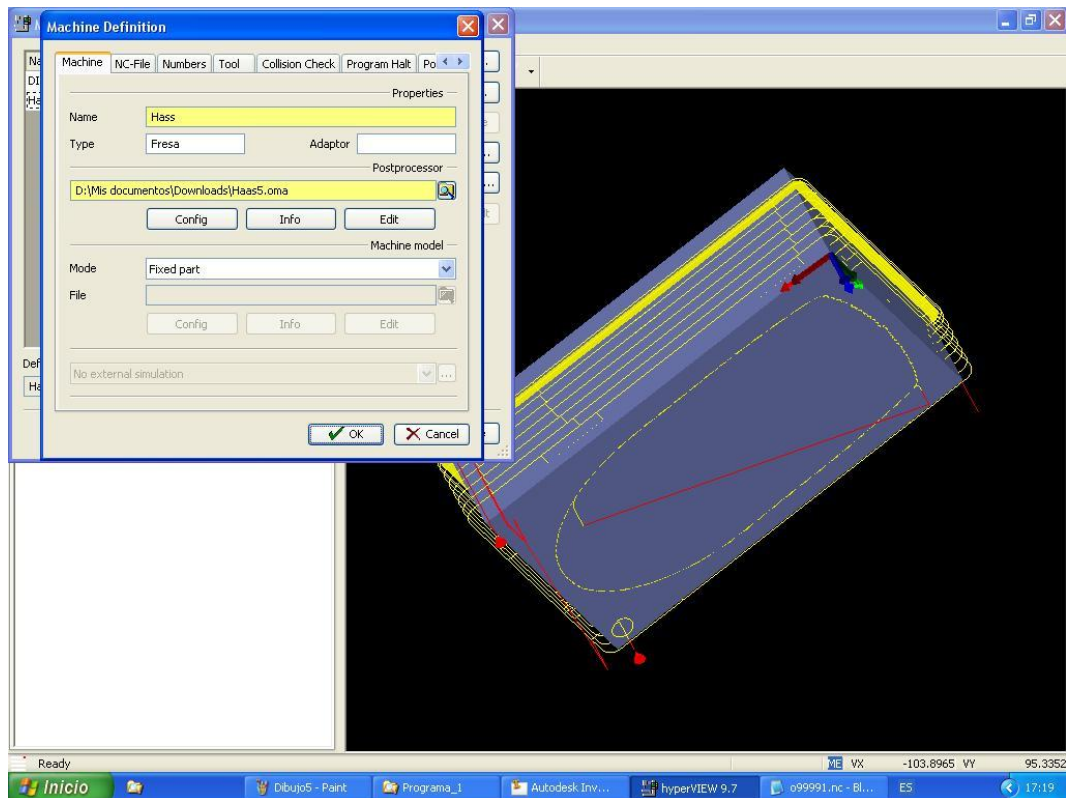


Imagen 35. Elección de la máquina y del postprocesador

Un vez hecho esto ya tenemos generado el programa de mecanizado necesario. Este programa puede simularse con otros simuladores en caso de ser necesario.

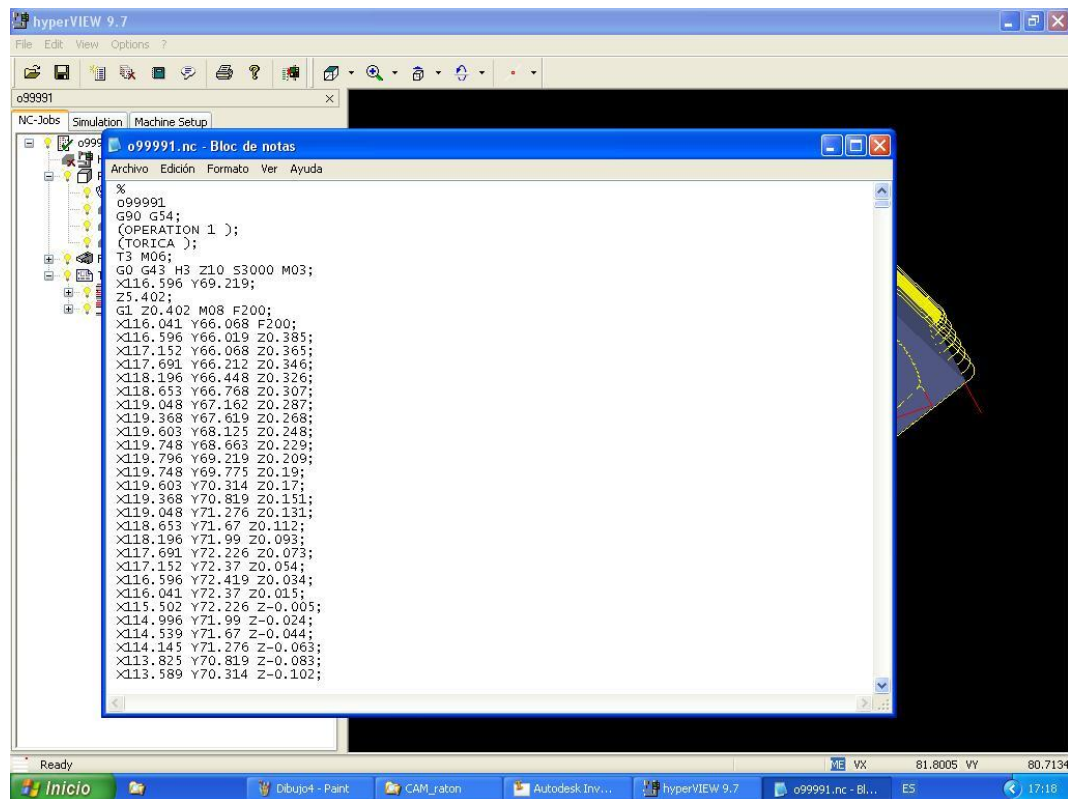


Imagen 36. Programa de mecanizado

Para esta pieza en concreto necesitaremos hacer dos programas de mecanizado. Uno para la cara superior del ratón que es el que se ha mostrado en las imágenes y otro para la parte inferior siguiendo el mismo proceso. Con los dos programas ya podemos comenzar con la última fase del proyecto: la mecanización del ratón en la fresadora Haas.

Se muestra la cabecera y el final de ambos programas. Se evita mostrar todo el programa debido a su longitud. En los entregables del proyecto se incluyen los archivos de ambos programas.



Programa de mecanizado de la primera cara:

```
%
o99991
G90 G54;
(OPERATION 1 );
(TORICA );
T1 M06;
G0 G43 H1 Z10 S3000 M03;
X116.596 Y69.219;
Z5.402;
G1 Z0.402 F200;
X116.041 Y66.068 F200;
X116.596 Y66.019 Z0.385;
X117.152 Y66.068 Z0.365;
X117.691 Y66.212 Z0.346;
X118.196 Y66.448 Z0.326;
X118.653 Y66.768 Z0.307;
X119.048 Y67.162 Z0.287;
X119.368 Y67.619 Z0.268;
X119.603 Y68.125 Z0.248;
X119.748 Y68.663 Z0.229;
.....
.....
X-2.672 Y73.397 Z-29.468;
X-2.446 Y73.527 Z-29.248;
X-2.219 Y73.658 Z-28.947;
X-2.106 Y73.723 Z-28.777;
X-1.993 Y73.789 Z-28.551;
X-1.88 Y73.854 Z-28.297;
X-1.751 Y73.929 Z-27.888;
X-1.745 Y73.932 Z-27.863;
X-1.671 Y73.974 Z-27.378;
X-1.672 Z-26.821;
X-1.748 Y73.93 Z-26.326;
G0 Z10;
G28;
M30;
%
```

Programa de mecanizado de la segunda cara:

```
%
o99992
G90 G54;
(OPERATION 1 );
(TORICA );
T1 M06;
G0 G43 H1 Z10 S3000 M03;
X33.132 Y33.629;
Z5.402;
G1 Z0.402 F150;
X32.576 Y30.477 F150;
X33.132 Y30.429 Z0.385;
X33.687 Y30.477 Z0.365;
X34.226 Y30.622 Z0.346;
X34.732 Y30.857 Z0.326;
X35.189 Y31.177 Z0.307;
X35.583 Y31.572 Z0.287;
X35.903 Y32.029 Z0.268;
X36.139 Y32.534 Z0.248;
X36.283 Y33.073 Z0.229;
X36.332 Y33.629 Z0.209;
X36.283 Y34.184 Z0.19;
X36.139 Y34.723 Z0.17;
X35.903 Y35.229 Z0.151;
X35.583 Y35.686 Z0.131;
X35.189 Y36.08 Z0.112;
.....
.....
X2.827 Y73.143 Z-29.798;
X3.054 Y73.274 Z-29.647;
X3.28 Y73.404 Z-29.468;
X3.507 Y73.535 Z-29.248;
X3.733 Y73.666 Z-28.947;
X3.846 Y73.731 Z-28.777;
X3.959 Y73.797 Z-28.551;
X4.073 Y73.862 Z-28.297;
X4.202 Y73.936 Z-27.888;
X4.207 Y73.939 Z-27.863;
X4.281 Y73.982 Z-27.378;
X4.28 Z-26.821;
X4.205 Y73.938 Z-26.326;
G0 Z10;
G28 ;
M30;
%
```

### Fabricación en fresadora

Como ya tenemos los programas de mecanizado lo último que nos queda es mecanizar el ratón partiendo de un trozo de PVC con unas medidas superiores a la pieza a fabricar. El tocho de partida tendrá unas dimensiones de 125x70x40 mm.

Como tenemos que mecanizar el ratón por dos caras primero amarramos el tocho en bruto en una posición y después de haber mecanizado esa cara con el primer programa (o99991) lo giraremos 180° sobre el eje X de la fresadora para amarrarlo en la segunda posición en la que ejecutaremos el segundo programa de mecanizado (o99992). En cada una de las caras, el programa ejecuta dos operaciones, una de desbaste y otra de acabado.

Antes de amarrar el tocho debemos alinear las mordazas de la fresadora ayudándonos de un reloj comparador hasta dejarlas perfectamente paralelas al eje X de la máquina. Una vez hecho esto amarramos el tocho bruto y nos aseguramos de que queda bien fijado.

Buscamos el “cero pieza” con la ayuda de un centrador de muelle. Este cero pieza debe coincidir con el que hemos definido en el programa de mecanizado a través del CAM.

Solo nos falta definir las herramientas en el control de la máquina y comenzar el mecanizado.



Imagen 37. Tocho bruto amarrado a las mordazas

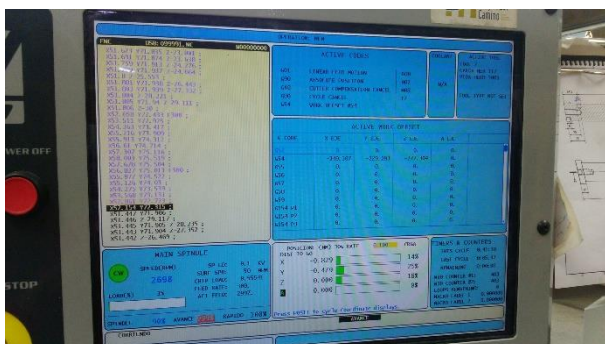


Imagen 38. Pantalla de la fresadora



Imagen 39. Herramientas y centrador



A continuación se muestran algunas imágenes del proceso de mecanizado:

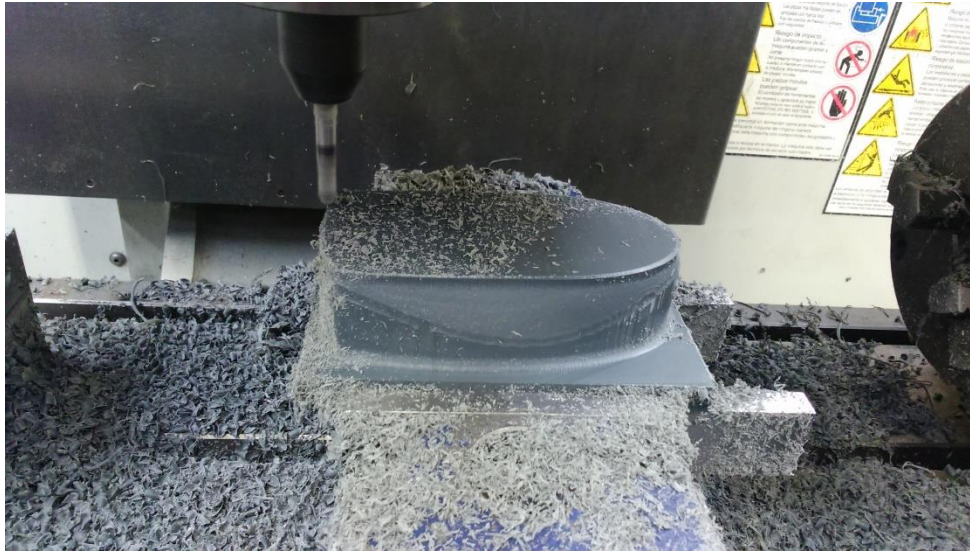


Imagen 40. Proceso de mecanizado y resultado parcial

Y por último la pieza final y una comparativa:



*Imagen 41. Resultado final*



*Imagen 42. Comparativa Prototipos Pieza Real*

## Anexo II Varios

### 1. Rúbrica de evaluación del proyecto

Alumnos		Titulo Proyecto		Fecha entrega
Categoría	10	7	5	1
<b>Memoria</b>	La memoria cumple con exactitud los puntos requeridos y lo hace con un buen nivel de calidad	La memoria cumple con exactitud los puntos requeridos	Falta alguno de los puntos requeridos en la memoria o la calidad no es buena	Faltan varios puntos requeridos en la memoria o la calidad es insuficiente
<b>Prototipo impreso</b>	El prototipo está bien ejecutado y la calidad superficial es buena	El prototipo está bien ejecutado pero la calidad superficial es mejorable	El prototipo presenta fallos de impresión o la calidad superficial es bastante mejorable	El prototipo presenta fallos importantes de impresión y la calidad superficial es muy mejorable
<b>Archivo STL</b>	El archivo está correctamente trabajado y libre de errores	El archivo está bien trabajado pero presenta algún error que podría corregirse	El archivo ha sido poco trabajado y presenta algún error corregible	El archivo está muy poco trabajado y presenta muchos errores corregibles
<b>Programas CNC</b>	El/los programas están bien generados y no presentan errores	El/los programas están bien ejecutados pero presentan algún error menor	El/los programas no están del todo bien ejecutados y presentan algún error importante	El/los programas no están bien ejecutados y no son factibles
<b>Pieza fresada</b>	La pieza está bien ejecutada y su calidad es buena	La pieza está bien ejecutada pero presenta algún defecto ligero	La pieza no está del todo bien ejecutada y presenta más de un defecto	La pieza no está bien ejecutada y presenta múltiples errores
Suma parcial				
			<b>Suma total</b>	

Instrucciones para completar la rúbrica:

Se puntúa cada categoría en una de las 4 opciones indicadas se realiza la suma parcial y total de puntos. Con la puntuación total se promediará la nota teniendo en cuenta que el máximo a obtener es 50 puntos y el proyecto tiene un valor sobre la nota final de la evaluación del 90%.



## 2. Cuestionario de valoración final de la Unidad didáctica (proyecto).



Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre del cuestionario: **Módulo Fabricación Asistida por Ordenador (FAO).**  
Cuestionario valoración final

1. ¿Consideras que has aprendido herramientas/habilidades que te serán útiles en el futuro?

- ☐ A Si, mucho
- ☐ B Bastante
- ☐ C Poco
- ☐ D Nada

2. ¿Te ha resultado un proyecto práctico?

- ☐ A Si, mucho
- ☐ B Bastante
- ☐ C Poco
- ☐ D Nada

3. ¿Te ha gustado trabajar en parejas o hubieras preferido hacerlo de manera individual?

- ☐ A Mejor en parejas
- ☐ B Mejor individual
- ☐ C Mejor en grupos más grandes

4. ¿Crees que el tiempo que hemos dedicado ha sido suficiente?

- ☐ A Si, ha sido suficiente
- ☐ B Hubiera sido deseable algo más de tiempo
- ☐ C No, ha sido insuficiente

5. Indica alguna mejora o cambio que harías en este proyecto:

---

---

---

---

---

6. Indica que es lo que más te ha gustado de este proyecto

---

---

---

---

---

7. ¿Recomendarías trabajar este proyecto a los alumnos del año que viene?

- ☐ A True  
☐ B False

---

8. Puntua el proyecto de manera general del 1 al 10

---

---

---

---

---

---

9. Aquí puedes dejar otros comentarios que consideres importantes...

---

---

---

---